

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL

# Modelação da Fiabilidade dos Geradores das Fragatas da Classe Vasco da Gama

Paulo Silvio Rodrigues Teixeira

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova  
de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor José António Mendonça Dias

Co-orientador: Professor Francisco Cunha Salvado

Lisboa

2010

---

“Equipped with his five senses, man explores the universe around him and calls the  
adventure Science”

Edwin Powell Hubble, The Nature of Science, 1954

À minha Família

## AGRADECIMENTOS

Os meus mais sinceros agradecimentos ao Dr. José António Mendonça Dias, pela sua orientação científica, pela compreensão demonstrada e apoio ao longo de todo este ano de trabalho. Ao Professor Francisco Cunha Salvado, pelo interesse e intenção manifestada no apoio à realização do presente trabalho.

Os meus agradecimentos dirigem-se também a Marinha Portuguesa pelo apoio institucional dado ao presente trabalho de investigação.

À Direcção de Navios da Base Naval de Lisboa – Alfeite, designadamente, ao Eng. Reboxo Antunes e ao Eng. Marques da Costa, pela disponibilidade e partilha de informação relativamente aos Geradores a Diesel.

Aos meus amigos sem excepção embora, em particular ao meu colega Emanuel Neri, que embarcou nesta aventura comigo.

Quero agradecer em especial à Dércia Góis, por todos os momentos.

Por fim, um grande agradecimento aos meus pais e irmão, pelo apoio e oportunidades que me proporcionaram ao longo da minha vida

## RESUMO

O presente trabalho insere-se no âmbito da Gestão da Manutenção tendo como base o estudo do comportamento estatístico dos Geradores a Diesel das fragatas Vasco da Gama, considerando-os como sistemas reparáveis.

Foram utilizados dados recolhidos da base de dados da Marinha (DSM 58 e DSM 59), desde Fevereiro de 2007 até Novembro de 2009, correspondentes às falhas registadas e às horas mensais de funcionamento de cada um dos doze geradores da classe. Ainda através da DSM 58, é possível identificar o tipo de intervenção realizada no respectivo sistema.

Numa fase inicial do trabalho tratou-se os dados recolhidos, para então proceder à sua análise. A metodologia aplicada baseou-se nos Processos Estocásticos Pontuais (Processos de Poisson), identificando-se assim a tendência da taxa de falhas para os vários equipamentos.

Através dos dados recolhidos também se identificou os sistemas com maior risco de falhas e quando possível as causas das falhas que mais influenciaram o comportamento global da classe. Foi realizado a análise da Fiabilidade com o cálculo dos MTBF's (Mean Time Between Failures) para cada um dos geradores.

O estudo contemplou ainda a modelação de uma manutenção preventiva através do modelo de Kaplan-Meier para os subsistemas que apresentaram maior número de falhas.

Com o decorrer da dissertação, constatou-se problemas na recolha e tratamento das falhas das respectivas bases de dados, que originaram sugestões de correcções futuras. Foram também encontradas possíveis soluções de manutenção preventiva para os subsistemas com maior incidência de falhas.

## ABSTRACT

The present work is inserted in the Management of Maintenance, having as base the study of the statistic behaviour of Diesel Generators of the Vasco da Gama frigates, considering it as reparable systems.

There were used collected data of the Marine data base ( DSM 58 e DSM 59), since February of 2007 and November of 2009. That corresponds to registered failures and mensal hours of functioning of each one of the twelve generators of the class. Still with DSM 58, it is possible to identify the type of intervention accomplished in the respective system.

In an initial phase of the work, the collected data were processed, to proceed to it's analysis. The applied methodology was based on Punctual Stochastic Processes (Poisson Processes), identifying the tendency of failure rates to several equipments.

With the collected data it was also identified the major risk systems of failures and when possible the failure causes that most influence the global behavior of the class. It was accomplished an analysis to the Reliability with the MBTF's calculation to each one of the generators.

The study contemplated the modeling of an preventive maintenance through the Kaplan-Meier study to the subsystems that presented major number of failures.

With the elapsing of the study, there were discovered problems in the collection and treatment of the respective failures of the data base, which originate future correction suggestions. There were also found possible solutions of preventive maintenance to the subsystems with major failure incidence.

## ACRÓNIMOS

A	Disponibilidade ( <i>Availability</i> )
BB	Bombordo
EB	Estibordo
I	Indisponibilidade
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas ( <i>Mean Time Between Failures</i> )
MTTF	Tempo Médio Até à Falha ( <i>Mean Time To Fail</i> )
MTTR	Tempo Médio Para Reparar ( <i>Mean Time to Repair</i> )
MTU	Motoren und Turbinen Union
N	Número de ocorrências da amostra, número de falhas
N(T)	Função acumulada do número de falhas
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PPH	Processo de Poisson Homogéneo
PPNH	Processo de Poisson não Homogéneo
R	Fiabilidade ( <i>Reliability</i> )
RCM	Manutenção centrada na fiabilidade ( <i>Reliability Centred Maintenance</i> )
ROCOF	Taxa de Ocorrência de Falhas ( <i>Rate of Occurrence of Failures</i> )
SR	Sistemas Reparáveis
$W_1$	Controlo
$W_2$	Análise óleo/água (250horas)
$W_3$	Mudança de óleo e Filtro (500horas)

$W_3$	Calibração dos injectores (1500horas)
$W_4$	Descarbonização (6000horas)
$W_6$	Revisão Geral (24000horas)
$H_0$	Hipótese nula, teste de Laplace
$H_1$	Hipótese alternativa, teste de Laplace
$\alpha$	Nível de significância do teste estatístico
$n_f$	Número total de falhas para um determinado período
$\lambda$	Taxa de falhas
$Z_0$	Teste de Laplace
$\tau_i$	Tempo de vida no momento da falha
$T_0$	Tempo de duração do teste, teste de Laplace
$Z_\alpha$	Valor da normal padronizada para o nível de significância $\alpha$ , teste de Laplace



# ÍNDICE DE MATÉRIAS

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Estudo.....	1
1.2 Objectivos da Dissertação .....	2
1.3 Organização da Dissertação.....	3

## CAPÍTULO 2

### MARINHA PORTUGUESA: CLASSE VASCO DA GAMA

2.1 Introdução.....	5
2.2 Marinha Portuguesa.....	6
2.3.1 Introdução.....	17
2.3.2 Organização da Manutenção na Marinha .....	19
2.3.3 Recursos a Mobilizar .....	22
2.3.4 Planos de Manutenção de Longo Prazo.....	23
2.3.5 Modo de execução .....	24
2.3.6 Sistemas de Recolha de Dados .....	25

## CAPÍTULO 3

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução.....	28
3.2 Evolução da Manutenção .....	29
3.3 Principais conceitos da Manutenção .....	30
3.3.1 Disponibilidade.....	30
3.3.2 Fiabilidade .....	32

3.3.3 Manutibilidade.....	34
3.3.4 MTBF e MTTR .....	34
3.3.5 Manutenção .....	36
3.3.6 Tipos de Manutenção.....	37
3.4 Análise estatística das falhas .....	39
3.4.1 Sistema Reparável .....	40
3.5 Taxa de falhas .....	42
3.5.1 Teste de Laplace .....	43
3.5.2 Processos de Poisson .....	45
3.5.3 Curva em forma de “banheira” .....	47
3.6 Rotáveis .....	48
3.7 Kaplan-Meier.....	49

## **CAPÍTULO 4**

### **RECOLHA ANÁLISE E MODELAÇÃO DAS FALHAS DOS GERADORES A DIESEL E SISTEMAS AUXILIARES**

4.1. Introdução.....	51
4.2. Tratamento/Análise da Taxa de Falhas do Sistema.....	52
4.2.1 Fragata A .....	54
4.2.2 Fragata B .....	59
4.2.3 Fragata C .....	64
4.2.4 Análise das falhas Classe Vasco da Gama .....	67
4.3 Análise dos MTBF's.....	69
4.3.1 Fragata A .....	69
4.3.2 Fragatas B e C .....	71

4.3.3 MTBF Mínimo Garantido .....	72
4.4 Rotáveis .....	74
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	
5.1. Conclusões.....	78
5.2 Proposta Futuras .....	83
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>87</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 – Características gerais do casco das fragatas Vasco da Gama .....	9
Tabela 2. 2 – Gerador a Diesel, relação potencia velocidade.....	15
Tabela 2. 3 – Características de funcionamento dos Geradores a Diesel .....	15
Tabela 2. 4 – Dimensões do Gerador a Diesel .....	16
Tabela 4. 1 - Horas acumuladas por falha ocorrida (gerador nº2, fragata A).....	55
Tabela 4. 2 - Número de ocorrências de falha por tipo de causa (fragata A) .....	58
Tabela 4. 3 – MTBF's dos geradores da fragata A.....	70
Tabela 4. 4 – MTBF mínimo garantido em 90% ( $\alpha=10\%$ ), para os geradores da Classe Vasco da Gama.....	73
Tabela 4. 5 – Modelo de kaplan-Meier aplicado à Bomba de Água Doce.....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1- Fragata modelo Meko 200, pertencente a classe Vasco da Gama; Fonte: <a href="http://militaryzone.home.sapo.pt">http://militaryzone.home.sapo.pt</a> .....	10
Figura 2. 2 - Sistema de propulsão das fragatas Vasco da Gama (CODOG); Fonte: <a href="http://www.aviogroup.com/en/catalog/marine/architettura_di_propulsione">http://www.aviogroup.com/en/catalog/marine/architettura_di_propulsione</a> .....	12
Figura 2. 3 – Gerador a Diesel 8 V 396 TB 53; fonte: catálogo MTU.....	14
Figura 2. 4 – Dimensões do Gerador a Diesel; Fonte: Manual Motores MTU Diesel Engine .....	16
Figura 2. 5 – Estrutura dos tipos de manutenção realizados pela Marinha Portuguesa .	20
Figura 3. 1 - Sistema redundante Total; Fonte: (Dias, 2002) .....	33
Figura 3. 2 - Sistemas felizes, tristes ou neutros; Fonte: (Ascher & Feingold, 1984)....	41
Figura 3. 3 – Falhas em função das horas de funcionamento dos sistemas.....	41
Figura 3. 4 - Exemplo de um sistema com ROCOF constante; Fonte: (Dias, Pereira, & Leitão, 2005).....	43
Figura 3. 5 - Curva Norma Reduzida; Fonte: (Dias, 2002) .....	45
Figura 3. 6 - Evolução da taxa de falhas em função do tempo.....	47
Figura 4. 1 - Localização dos geradores, nas fragatas Vasco da Gama.....	53
Figura 4. 2 - Planeamento da Manutenção da fragata A .....	54
Figura 4. 3 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº2, fragata A).....	56
Figura 4. 4 - Diagrama de Pareto dos tipos de causa das falhas ocorridas na fragata A	59
Figura 4. 5 - Planeamento da Manutenção da fragata B.....	60

Figura 4. 6 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº4, fragata B).....	61
Figura 4. 7 - Diagrama de Pareto dos tipos de causas das falhas ocorridas na fragata B	63
Figura 4. 8 - Planeamento da Manutenção da fragata C.....	64
Figura 4. 9 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº1, fragata C).....	65
Figura 4. 10 - Diagrama de Pareto dos tipos de causa das falhas ocorridas na fragata C .....	67
Figura 4. 11 - Diagrama de Pareto dos tipos de causa das falhas ocorridas na classe Vasco da Gama.....	68
Figura 4. 12 – MTBF's dos geradores da fragata A .....	71
Figura 4. 13 – MTBF mínimo garantido em 90% ( $\alpha=10\%$ ), para os geradores da classe Vasco da Gama.....	73
Figura 4. 14 - Modelo de Kaplan-Meier para Bomba de água doce .....	75
Figura 4. 15 - Modelo de Kaplan-Meier do subsistema de pré-aquecimento de água doce .....	76
Figura 4. 16 - Modelo de Kaplan-Meier para o Regulador e Limitador de Velocidade	76
Figura 4. 17 - Modelo de Kaplan-Meier para a Bomba de água salgada .....	77

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

### **1.1 Enquadramento do Estudo**

A História da Manutenção é longa, contudo continua a evoluir no tempo e consequentemente dentro de cada organização. Um nível aceitável do desempenho da indústria é dificilmente inatingível sem uma base eficaz da Gestão da Manutenção (Cholasuke, Bhardwa, & Antony, 2004).

Todos os equipamentos, sistemas e instalações, sejam eles de diferentes naturezas, estão sujeitos a condições de funcionamento que provocam inevitavelmente a degradação das suas condições normais de operacionalidade, com o decorrer do tempo. São nestas condições, com o objectivo de repor essa operacionalidade a níveis correctos que entra a Manutenção.

A manutenção para cumprir a sua missão, recorre a um conjunto diversificado de tarefas seleccionadas de acordo com as características de utilização do seu objecto e as condições de serviço que lhe foram fixadas.

A manutenção assume um papel determinante visto ser essencial para garantir a disponibilidade e a Fiabilidade dos equipamentos utilizados, influenciando de forma

positiva no funcionamento dos sistemas um vez que diminui significativamente as interrupções indesejáveis.

Em muitas organizações incluindo a Marinha, as identidades responsáveis pela gestão da manutenção têm feito esforços no sentido de prever quando ocorrerá uma falha no sistema. Uma manutenção planeada, que actua no momento exacto, é por excelência o modelo ideal para a minimização dos custos de manutenção inerentes e por consequência maximizando a utilização dos equipamentos (Gonçalves, 2005).

No âmbito desta dissertação são utilizados métodos estatísticos para estudar a tendência da taxa de falhas ocorridas nos equipamentos que compõem os sistemas de produção de energia eléctrica das fragatas da classe Vasco da Gama da Marinha Portuguesa.

É importante conhecer o funcionamento de todo o sistema de recolha de dados, assim como de que modo é realizada a manutenção dentro da Marinha Portuguesa mais propriamente nos geradores a diesel das fragatas da classe Vasco da Gama. Posteriormente ao cruzar toda a informação recolhida, pretende-se gerar resultados estatísticos, com o objectivo de comparar o desempenho dos geradores da classe e ainda identificar os subsistemas que mais falhas registaram, de forma a ajustar acções de manutenção preventiva a implementar, tendo em vista a minimização dos riscos de falhas.

## **1.2 Objectivos da Dissertação**

Ao efectuar um estudo dum sistema deste tipo a sua análise torna-se complexa, pois é necessário considerar todo um conjunto de envolventes. Há que ter em atenção todos os factores que possam ter influenciado o funcionamento deste, como por exemplo intervenções correctivas ao longo da sua vida útil.



O presente trabalho enquadra-se na Gestão da Manutenção, tendo como base o estudo dos geradores a diesel das fragatas da classe Vasco da Gama.

O principal objectivo é contribuir significativamente para uma melhoria da fiabilidade dos sistemas em estudo, recorrendo para o efeito ao teste de Laplace, cálculo do MTBF e análise gráfica da distribuição das falhas ao longo do tempo para os sistemas reparáveis.

É ainda importante para o estudo avaliar e ajustar as acções de manutenção a implementar, com o intuito de minimizar os riscos de falha e consequentemente melhorar o desempenho dos sistemas. Assim sendo, há que encontrar um modelo que sirva de apoio à decisão, de forma a modelar os períodos óptimos de substituição preventiva dos subsistemas com a fiabilidade pretendida.

Importante é também, analisar as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do estudo, para assim propor modificações e medidas que contribuam de alguma forma para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

### **1.3 Organização da Dissertação**

No capítulo 1, pretende-se apresentar genericamente o trabalho desenvolvido, assim como a própria estrutura da dissertação.

No capítulo 2, foi realizada uma breve introdução sobre a história da Marinha Portuguesa. São apresentados os equipamentos que constituem as fragatas Vasco da Gama, focando o objecto do estudo - Os Geradores a Diesel. Ainda neste capítulo, são referidas as práticas de manutenção desenvolvidas pelos profissionais desta secção. Por último, apresenta-se sucintamente o sistema de recolha de dados, descrevendo as diferentes bases de dados que o constituem, assim como de que forma é realizada a recolha dos mesmos.

O capítulo 3, é dedicado exclusivamente à revisão bibliográfica. Tentou-se enquadrar a dissertação no contexto actual, recorrendo para isso a publicações recentes.

A recolha, tratamento e análise dos dados, foi reservada para o capítulo 4. São descritos os procedimentos ao nível da recolha de dados. Esta foi uma fase do trabalho, que implicou uma selecção minuciosa das falhas, para posteriormente chegar a resultados que traduzissem o comportamento real dos sistemas, cumprindo assim os objectivos pré-definidos. Ainda neste capítulo são analisados e modelados os dados, previamente tratados e aplicadas as ferramentas e metodologias mencionadas na revisão bibliográfica.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões retiradas ao longo do trabalho, mencionando as dificuldades encontradas. Serão também apresentadas propostas para possíveis trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2**

# **MARINHA PORTUGUESA: CLASSE VASCO DA GAMA**

### **2.1 Introdução**

De forma a elucidar o leitor sobre o ambiente onde se insere a dissertação, fez-se um breve resumo da história da Marinha Portuguesa, referindo os motivos que originaram o seu nascimento e as principais missões que desempenhou até os dias de hoje.

Neste mesmo capítulo, é feita uma breve introdução às fragatas da classe Vasco da Gama, para uma melhor familiarização com os equipamentos e terminologias utilizadas. É apresentada ainda uma descrição sobre as características do objecto de estudo (Geradores a Diesel), assim como os componentes e subsistemas auxiliares pertencentes aos mesmos.

Visto que os registos das falhas e horas de funcionamento dos equipamentos são armazenados nas respectivas bases de dados (DSM58; DSM59), fez-se referência aos

processos e metodologias utilizadas nos registos das falhas, de modo a constituir informação importante para uma melhor compreensão do estudo apresentado.

O conteúdo presente ao longo do capítulo, foi na sua maioria fornecido através de documentação interna, catálogos, manuais, fichas técnicas e apontamentos recolhidos durante as reuniões semanais decorridas na base Naval do Alfeite. Para fundamentar alguns aspectos foi realizada em simultâneo uma pesquisa bibliográfica, recorrendo a artigos e livros da matéria.

## **2.2 Marinha Portuguesa**

Os primeiros registos das existências de uma organização ao nível da Marinha Portuguesa datam do séc. XII. De acordo com uma bula papal a Marinha Portuguesa é o ramo das Forças Armadas mais antigo do Mundo.

Criada com a nacionalidade, a Marinha Portuguesa tem uma história que se confunde com a história da Nação, podendo dizer-se que é uma História de Portugal vista do mar ([www.marinhaportuguesa.pt](http://www.marinhaportuguesa.pt), 2010).

A criação de uma força Naval, teve origem no ano 1312, devido à insegurança que se fazia sentir através dos piratas mouros. Para desencorajar tais tentativas de ataque, foi então criada esta organização com o intuito de defender o território e a navegação nacional.

Durante a expansão ultramarina portuguesa que teve início no séc. XIV e se manteve até o séc. XVI, a Marinha assume um papel preponderante no que toca à exploração e combate das potências que se opunham ao movimento do domínio português. Devido à realização destas novas missões, a Marinha adquire experiências e habilidade, que a permite actuar em todos os oceanos do mundo, desde o Atlântico ao Pacífico.

Com a invasão do território português pelo exército espanhol em 1580, a esquadra portuguesa fica ao comando de Filipe I, para combater os inimigos de Espanha. Na sequência desta acção os mais poderosos navios portugueses, são introduzidos na Armada Invencível, sendo a grande maioria destruídos com ela. Devido a estes factores a marinha entra num período de decadência que só irá ser invertido muito depois da restauração da independência.

Mais recentemente com a participação na Nato, houve a necessidade de apetrechar e actualizar a frota portuguesa. Por estes motivos, foi criado um estudo sobre a aquisição de novas fragatas que por razões económicas só veio a realizar-se mais tarde. Contudo e apesar das dificuldades, a Marinha tenta cumprir os acordos nacionais e internacionais, renovando sempre que possível as suas infra-estruturas.

### **2.2.1 Classe Vasco da Gama**

Em meados de 1976, no final da guerra do Ultramar, o país redirecciona-se para o Atlântico Norte e para as missões no âmbito da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN). Contudo para satisfazer os requisitos OTAN, houve a necessidade de investir em navios de superfície, pois as fragatas da Classe Almirante Pereira da Silva, estavam desactualizadas o que manifestava a necessidade de serem substituídas.

Com o intuito de escolher um modelo que se adequasse às necessidades portuguesas, organizou-se logo de início um estudo em conjunto com o grupo ad-hoc da OTAN, onde foram analisados vários modelos de fragatas. No entanto os estudos foram-se arrastando ao longo dos anos tendo o projecto passado por várias desavenças, a maioria por motivos monetários.

Finalmente, foi encontrada uma solução, através de uma proposta de um consórcio alemão (Blohm + Voss, Ferrostaal, HDW e Thyssen Rheinstal Technik) para a construção de três fragatas do tipo MEKO 200. As negociações com o consórcio alemão decorreram rapidamente, o que originou um pré-acordo financeiro entre os Governos

Português e Alemão. Por fim, passados dez anos de ter sido lançado o programa, foi assinado o contrato de construção das três fragatas.

A 18 de Janeiro de 1991, foi entregue o 1º navio da classe Vasco da Gama, numa cerimónia oficial no Tejo, após ter sido previamente testada na Alemanha. A segunda fragata a navegar os mares portugueses foi a Álvares Cabral, construída noutro estaleiro, HDW localizado em Kiel, entrando em serviço em 25 de Maio. Por último a C, construída também em Kiel, chegou a Portugal a 22 de Novembro do mesmo ano.

Para percebermos como as fragatas foram desenvolvidas é necessário introduzir o termo MEKO, que não é mais do que a abreviatura de Mehrzweck Korzept, em Alemão, que traduzido para Português significa polivalente. Este conceito foi introduzido no estaleiro de Blohm+Voss, há mais de 20 anos. O MEKO é um tipo de construção modular, o qual se baseia numa plataforma padrão, onde os sensores e equipamentos são instalados em contentores ou paletes, mais conhecidos por Functional Units. Sempre que possível, são instalados em cada contentor todos os subsistemas e unidades que fazem parte de uma arma ou um sensor completo. A utilização deste conceito, traz várias vantagens, tais como a construção em paralelo da plataforma e dos contentores e paletes, reduzindo significativamente o tempo de construção, pois as tarefas tornam-se independentes umas das outras. Este método também permite que os sistemas sejam montados dentro da própria fabrica, em melhores condições de trabalho, resultando numa melhor qualidade do material. Isto permite testar os sistemas nas próprias fábricas, sob a óptica de sistema, em vez de equipamento a equipamento. Outro benefício da construção modular, é a possibilidade de alcançar mais rápida e eficazmente os sistemas/subsistemas do navio, realizando assim manutenções em prazos relativamente curtos e consequentemente menos dispendiosos.

Os navios da classe Vasco da Gama foram os primeiros a ser construídos segundo o conceito MEKO mod. III, que não é mais do que melhoramentos e optimização do conceito MEKO inicial, que manifestou alguns problemas em confrontos navais. Para ultrapassar os problemas do MEKO inicial, foi introduzido dois cabos coaxiais ao longo do navio para aumentar a redundância. Esta alteração diminui substancialmente as

cablagens entre os diversos equipamentos, facilitando a sua substituição. Para tornar o navio mais estanque adoptou-se uma filosofia de compartimentos independentes, aumentando a sua capacidade de sobrevivência.

A nível internacional o conceito MEKO tem revelado ser cobiçado por várias nações. Inicialmente pela Argentina e Nigéria, posteriormente pela Turquia e Grécia e mais recentemente foram encomendadas 10 fragatas pela Austrália e Nova Zelândia. A NATO também se mostrou interessada pelo conceito, formando um grupo de trabalho que durante alguns anos, estudou no seu seio.

### **Características gerais do navio**

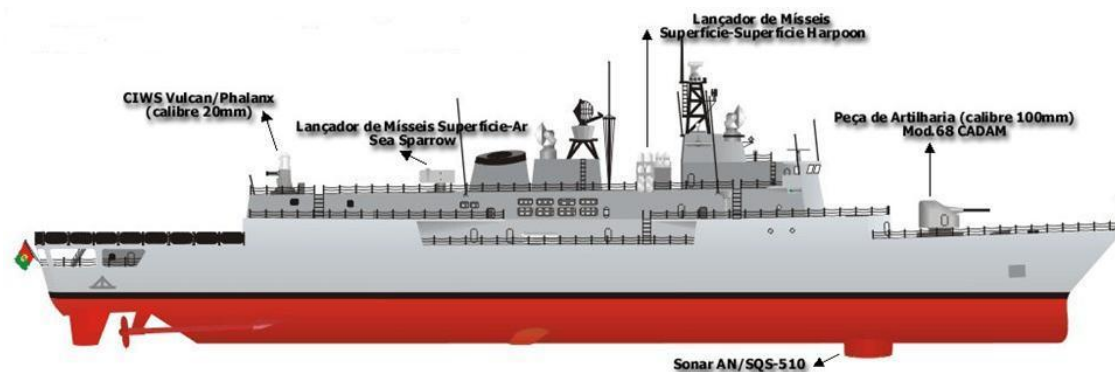
As fragatas Vasco da Gama, foram concebidas para actuar em ambientes de multi-ameaça, estando também dotadas de sondas oceânicas eficazes que aumenta o potencial para luta anti-submarina. Devido a estas capacidades, estão aptas para satisfazer os requisitos estabelecidos pela NATO e Estado-Maior da Armada

### **Casco**

O casco do navio tem as seguintes características principais:

**Tabela 2. 1 – Características gerais do casco das fragatas Vasco da Gama**

Comprimento (de fora a fora)	115,9 [m]
Comprimento (na linha de água)	109,0 [m]
Boca na linha de água	13,8 [m]
Boca no convés	14,2 [m]
Calado de projecto	4,1 [m]
Calado no domo sonar	6,0 [m]
Deslocamento máximo	3200 [t]
Deslocamento leve	2920 [t]



**Figura 2. 1- Fragata modelo Meko 200, pertencente a classe Vasco da Gama; Fonte: <http://militaryzone.home.sapo.pt>**

O casco deste tipo de navio está dotado de um maior número de anteparas, cuja função é aumentar a rigidez do navio, garantindo a estanquicidade dos compartimentos.

O material usado para a construção do casco e das superestruturas foi um aço de elevada resistência, conferindo mais segurança face às situações mais adversas. Estes navios, têm uma configuração que os torna estáveis, pois o tamanho da sua secção lateral é considerável em comparação com o seu comprimento. A proa tem uma geometria que faz com que fique mais elevada que o convés, o que melhora o desempenho.

O navio está equipado com várias estações de reabastecimento para sólidos e pessoal, tanto a bombordo como a estibordo, no centro do navio e no pavimento. No que diz respeito ao reabastecimento de líquidos, sejam eles, combustível ou água podem ser transportados pelos métodos já standardizados para acoplamento das mangueiras. Além destes métodos, existe ainda outra estação de reabastecimento de líquidos na proa, que permite a ligação proa popa.

A fragata dispõe de um escaler equipado com um motor, o que confere uma velocidade de oito nós e uma capacidade para dez pessoas. Alberga ainda uma embarcação semi-rígida, um bote de borracha e onze jangadas salva-vidas. Para poder fundear em



segurança o navio está dotado de dois ferros, um guincho na proa e um cabrestante (rolo mecânico) na popa.

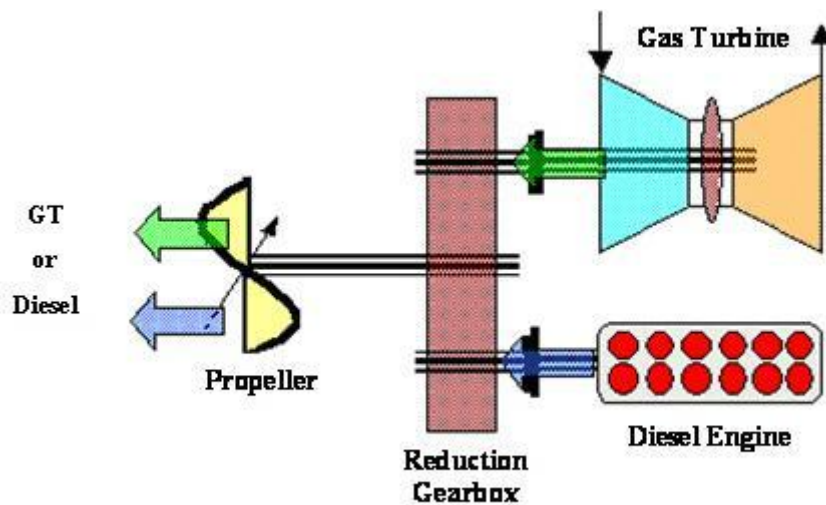
O navio, está apetrechado com uma plataforma de helicóptero, desta feita tem a capacidade de realizar operações de voo, tanto de dia como de noite. O hangar é suficientemente amplo, para albergar dois helicópteros de tamanho médio.

Para garantir as condições de estabilidade e flutuabilidade impostas pela Marinha dos Estados Unidos, o casco está dividido em doze compartimentos estanques. No entanto, existem tanques de água de lastro que podem ser utilizados sempre que o navio precisa de manter a estabilidade. Ainda no que toca à estabilidade da classe Vasco da Gama, está dotada de estabilizadores activos, não retrácteis, que diminuem até 90% o balanço do navio a uma velocidade de 20 nós, contribuindo fortemente para a segurança da navegação.

Com vista a minimizar a assinatura no radar (radar cross section), o navio foi concebido tendo em conta a eliminação das descontinuidades bruscas e conferindo uma inclinação de 7 graus nas superfícies exteriores, com o objectivo de divergir as ondas radar reflectidas.

### **Propulsão**

Apesar do seu tamanho considerável, estão dotados de um sistema de propulsão eficiente que possibilita os navios atingirem a velocidade máxima num curto espaço de tempo. Este sistema denominado por CODOG (COmbined Diesel or Gas) é constituído por duas linhas de veios, cada uma formada por um motor Diesel MTU 12V1163 TB83, de 4,420 Cv de potência, uma turbina a gás General Electric LM 2500-30, de 30000 CV de potência, uma caixa redutora e um hélice de 5 pás de passo controlável.



**Figura 2.2 - Sistema de propulsão das fragatas Vasco da Gama (CODOG); Fonte:**  
[http://www.aviogroup.com/en/catalog/marine/architettura\\_di\\_propulsione](http://www.aviogroup.com/en/catalog/marine/architettura_di_propulsione)

As fragatas normalmente navegam como os motores Diesel, pois estes são muito mais económicos em comparação com as turbinas, atingindo uma velocidade máxima de 18 nós que corresponde a mais de 85% do tempo de navegação. Quando são accionadas as turbinas a gás, o navio consegue elevar a sua velocidade até 32 nós, no entanto não consegue manter esta velocidade num período muito extenso, devido ao consumo exigido pelas turbinas.

Por razões de segurança o navio tem os seus tanques de combustível abaixo da linha de água, tendo uma capacidade máxima de 360 toneladas, o que confere uma autonomia de cerca de 4100 milhas a 18 nós e de 900 a 32 nós. É importante mencionar, que o navio demora 2 minutos a atingir os 32 nós partindo da situação “parado”. E consegue estagnar a sua velocidade máxima em 3 comprimentos, através da inversão das hélices a toda a força.

### **Armamento**

Sendo as fragatas da classe Vasco da Gama, navios de guerra, é importante que estejam equipados com armamento capaz de enfrentar as ameaças que possam surgir.

Desta feita, as fragatas estão dotadas de um conjunto de armamento, que será descrito de seguida.

**-1 peça de 100mm Mod68 CADAM**, é uma arma polivalente, utilizada em tiro de superfície, anti-aéreo, anti-míssil, contra terra e ainda para o disparo de munições iluminantes e *chaff / flare*.

**- RIM-7M NATO Sea Sparrow**, é um míssil eficaz contra alvos aéreos, nomeadamente mísseis, a curtas e médias distancias.

**-Vulcan-Phalanx MK15**, trata-se de um *Close-in Weapon System* (CIWS), um canhão do tipo Gatling de 20 mm, utilizando 6 canos rotativos e com um ritmo de fogo de 3000 tiros por minuto.

**-Boeing Harpoon**, é um míssil anti-navio que a fragata dispõe e tem um alcance de 60 milhas náuticas. Está instalado em duas estruturas de suporte para 4 contentores cada, a meio navio e apontadas uma para cada um dos bordos, a 90° em relação ao eixo do navio.

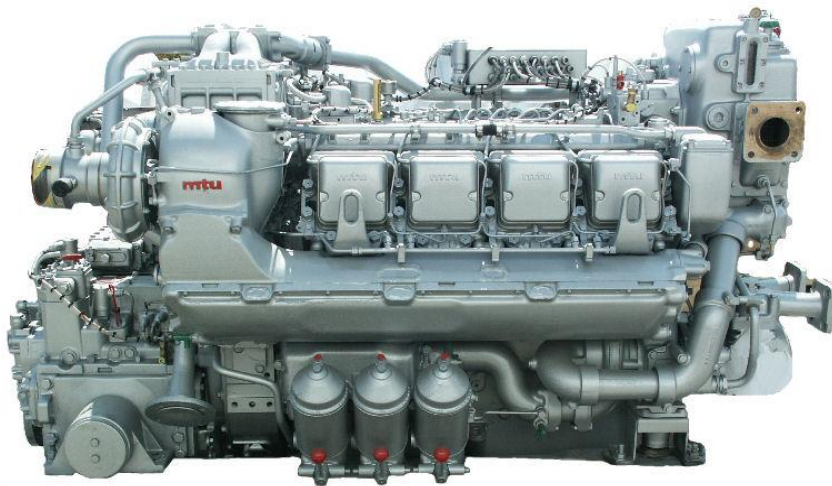
**- torpedos MK 44 e MK 46**, o navio dispõe desta arma para o ataque a submarinos. Este armamento sofreu alterações em relação a gama anterior, com o objectivo de melhorar a velocidade, a profundidade máxima e alcance. Ainda existe a possibilidade de ser lançados do helicóptero ou de dois reparos triplos de tubos lança-torpedos MK 32.

### **Guarnição**

Os navios têm uma capacidade de 180 homens, mais especificamente, 23 oficiais, 47 sargentos e 110 praças. No entanto algumas missões, necessitam do apoio aéreo. O destacamento de helicópteros é constituído, por 4 oficiais (pilotos), 8 sargentos e 4 praças, diminuindo assim a guarnição para 164 elementos nas situações em que os meios aéreos estão a operar.

## Geradores a Diesel

A energia eléctrica é produzida através de quatro geradores a diesel. Por razões de segurança os geradores estão em secções diferentes dos navios, encontram-se em duas “casas”, uma na proa e outra à ré, onde cada uma alberga dois motores geradores a diesel. No entanto para o funcionamento integral, o navio apenas necessita de dois dos quatro geradores em funcionamento, ficando os restantes como equipamento redundante. A distribuição da energia pelo navio é realizada através de dois cabos principais redundantes, a EB e a BB, situados abaixo do pavimento 3, o que permite uma distribuição vertical dentro de cada um dos vários compartimentos.



**Figura 2. 3 – Gerador a Diesel 8 V 396 TB 53; fonte: catálogo Motoren und Turbinen Union (MTU), 2009**

### Características do Motor a Diesel 8 V 396 TB 53

8:	número de cilindros
V:	configuração em V
396:	serie do Motor
T:	turbocharging

- B: arrefecimento externo ar - líquido, com refrigeração no pistão
- 5: motor marítimo
- 3 número de desenho

### Potência do Gerador

**Tabela 2. 2 – Gerador a Diesel, relação potencia velocidade**

	Potência [KW]	Velocidade [rpm]
Potência contínua	655	1800
Potência máxima	720	1800

Condições referência:

- Temperatura de entrada do ar: 45 C
- Temperatura água: 32 C
- Pressão barométrica: 1000 mbar

### Especificações gerais

**Tabela 2. 3 – Características de funcionamento dos Geradores a Diesel**

Modo de refrigeração	Líquido de refrigeração
Volume do cilindro	3.96 [litros]
Volume total	31.6 [litros]
Taxa de compressão	12:1
Direcção de rotação	c.c.w (irreversível)
Velocidade média do pistão a 1800 rpm	11.10 [m/s]

## Dimensões e Peso

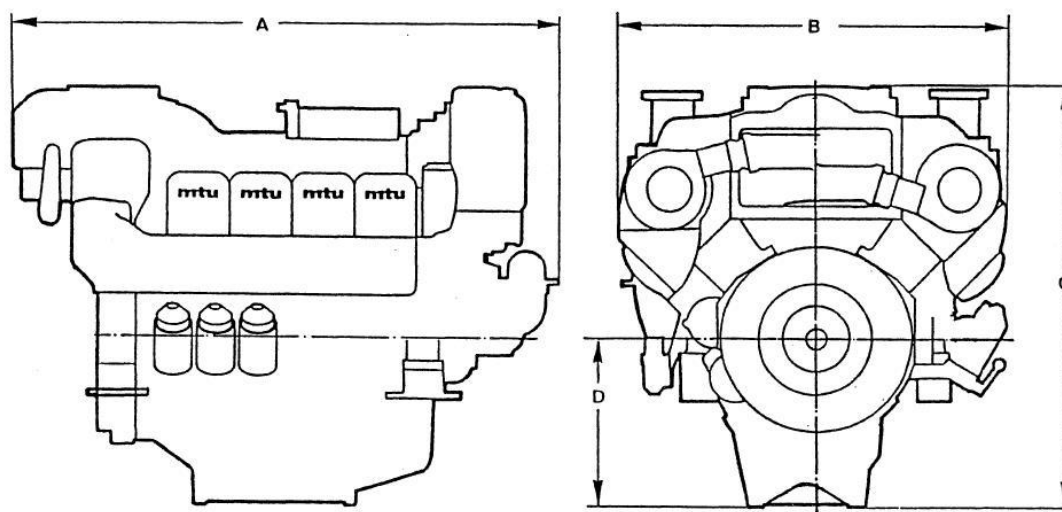


Figura 2. 4 – Dimensões do Gerador a Diesel; Fonte: Manual MTU Diesel Engine

Tabela 2. 4 – Dimensões do gerador a Diesel

Comprimento (A)	1949 [mm]
Largura (B)	1442 [mm]
Altura (C)	1571 [mm]
Distancia entre a centerline e a parte inferior do motor (D)	635 [mm]

### Peso do Motor :

Peso seco do motor-----aprox. 3220 [Kg]

### Capacidades, refrigerante/óleo:

Capacidade de refrigerante-----aprox. 100 [litros]

Capacidade óleo:

Mínima-----60 [litros]

Máxima-----75 [litros]

Enchimento inicial-----87 [litros]

Mudanças de óleo-----75 [litros]

### **Consumos:**

Potência contínua e usando o combustível conforme o catálogo do Motoren und Turbinen Union (MTU)

Normal-----217 [g/KWh]

Máxima-----228 [g/KWh]

O motor pode operar à potência máxima, acima dos valores limite especificados, resultado de diferentes condições referência ou então quando atinge o tempo de vida útil previsto. No entanto se tal acontecer há que ter cuidado em identificar e corrigir a causa.

## **2.3 Manutenção na Marinha**

### **2.3.1 Introdução**

O material referente à manutenção da Marinha Portuguesa, foi fundamentado em artigos e livros que se encontram na base Naval de Alfeite.

A manutenção do material naval respeita todos os níveis de gestão e abrange todo o seu ciclo de vida, desde a concepção ao abate.

Para que a manutenção seja executada eficazmente, é importante logo na fase de concepção, considerar todos os factores de manutibilidade e antever objectivos e critérios de manutenção. No entanto há que ter em conta que a manutenção está limitada por outros factores como os recursos financeiros, gestão de stocks e recursos humanos. Todas estas considerações conduzem para uma necessidade de se adoptar um sistema de gestão que alcance as necessidades a todos os níveis, introduzindo procedimentos normalizados que garantam a recolha e o uso efectivo da informação sobre o material, gerada pela actividade da manutenção.

Um dos objectivos primordiais da manutenção nos meios navais é atingir um nível pré-definido de disponibilidade do material, compatíveis com os programas e missões de utilização operacional estabelecidos. No entanto, devido a influência de natureza financeira, nem sempre é atingido o nível desejado.

Foram definidos três parâmetros, onde se deve actuar para atingir o objectivo anteriormente referido:

- Obtenção de graus aceitáveis de fiabilidade do material;
- Obtenção de elevados coeficientes de disponibilidade e/ou operacionalidade dos meios navais;
- Obtenção dos menores custos específicos de manutenção nas diferentes áreas de intervenção

No entanto para manter os sistemas e equipamentos com um grau de fiabilidade elevado, é imprescindível determinar tempos de imobilização dos meios navais de duração e custos acrescidos. Portanto existe uma balança entre a taxa de utilização dos meios navais e a sua fiabilidade, que tem de ser ajustada para que ambos possam



coexistir. Do mesmo modo a gestão financeira tem a sua importância no que diz respeito à manutenção, pois sempre que se baixar os custos além de determinados limites, a fiabilidade e/ou disponibilidade dos meios ver-se-á prejudicada.

Com o intuito de melhorar progressivamente o nível médio da capacidade operacional dos meios e da sua fiabilidade, é necessária uma avaliação sistemática da manutenção com recursos a tecnologias, que permitam a determinação e a predição do estado do material através de métodos que não ponham em causa a integridade física do mesmo. Assim sendo é importante uma formulação correcta das medidas que correspondem a essas necessidades, seguido de um planeamento objectivo da execução das mesmas, tendo em conta os meios de actuação disponíveis. Para que estas medidas tenham o efeito desejado é imprescindível um controlo eficiente da qualidade dessas operações.

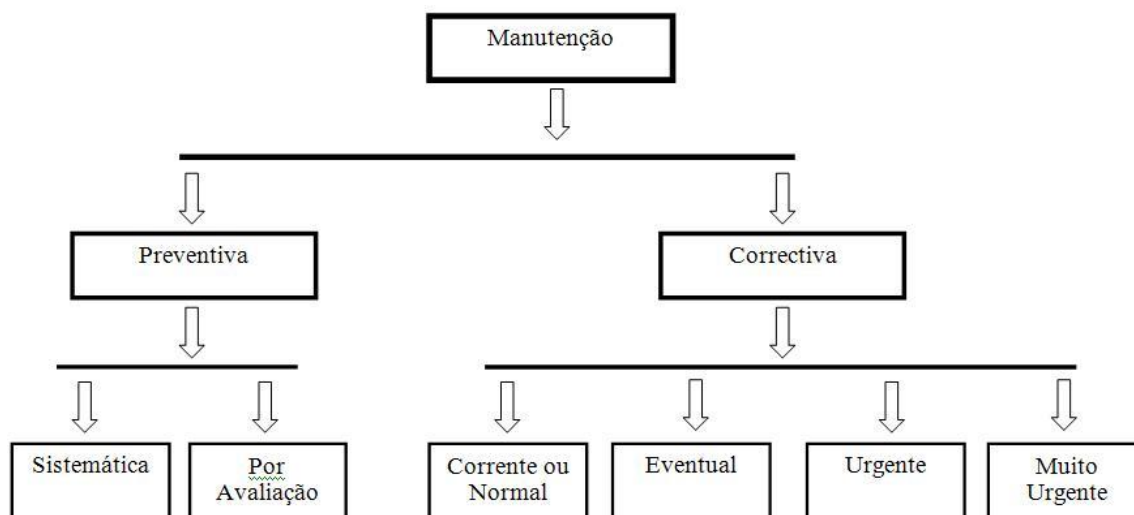
Para o aumento da disponibilidade operacional dos meios, ter-se-á que diminuir progressivamente as necessidades de intervenção não planeada e reduzir o período das immobilizações necessárias à manutenção, maximizando assim o espaçamento entre immobilizações.

A diminuição dos custos de manutenção, passará por uma avaliação minuciosa das necessidades de reparação e/ou substituição do material. A criação de medidas eficazes que conduzam à recuperação de equipamentos e componentes, leva a uma minimização dos custos através de um controlo apertado.

### **2.3.2 Organização da Manutenção na Marinha**

A estrutura na qual está assente o planeamento da manutenção na Marinha, assume um factor de peso no modo como se comportam os sistemas navais, que devido ao considerável número de embarcações e todos os restantes elementos de apoio, se traduz numa árdua tarefa de preparação de actividades a desenvolver.

A seguinte figura esquematiza a estrutura de manutenção na qual se rege a Marinha.



**Figura 2. 5 – Estrutura dos tipos de manutenção realizados pela Marinha Portuguesa**

### Manutenção Preventiva

Tipo de manutenção que tem como objectivo minimizar o risco de falha do material, sendo realizada segundo intervalos de tempo pré-definidos. Consoante a sua incidência temporal, subdivide-se em:

1. **Manutenção sistemática** – quando as operações são realizadas com determinada periodicidade, implicando normalmente, a indisponibilidade do equipamento.
2. **Manutenção por avaliação** - quando as operações a realizar decorrem da determinação do estado do material, por acompanhamento ou previsão de condições, efectuadas por métodos que não implicam por norma a indisponibilidade do equipamento intervencionado.

### **Manutenção Correctiva**

É um conjunto de acções realizadas após a falha ou degradação do sistema e visa a reposição do sistema num estado operacional satisfatório. Este tipo de manutenção subdivide-se em quatro grupos, diferenciados consoante a sua prioridade:

1. **Manutenção Corrente ou Normal** - manutenção correctiva referente à reparação de falhas que não afectam a segurança nem a operacionalidade dos meios navais ou dos seus sistemas ou equipamentos, e cuja natureza permite que sejam executadas nos períodos de imobilização destinados às acções de manutenção planeada.
2. **Manutenção Eventual** - manutenção correctiva referente à reparação de falhas que afectam a segurança ou operacionalidade dos meios navais ou dos seus sistemas ou equipamentos, ou ainda o bem-estar do pessoal. Devido à sua natureza não permite que sejam executadas sem interferência nos seus planos de utilização, determinando a sua passagem a uma situação de indisponibilidade e a sua reparação fora dos períodos de imobilização destinados às acções de manutenção planeada.
3. **Manutenção Urgente** - trabalhos de manutenção correctiva referentes a falhas que afectam a segurança ou operacionalidade dos meios navais ou dos sistemas ou equipamentos, ou ainda o bem-estar do pessoal, e cuja natureza permite que sejam executadas em curto espaço de tempo, não interferindo com os planos de utilização desses meios.
4. **Manutenção Muito Urgente** - pequenos trabalhos de manutenção correctiva referentes a falhas que constituem perigo imediato para o material ou pessoal, e cuja natureza permite que sejam executados imediatamente, não interferindo com os planos de utilização dos meios navais.

### **2.3.3 Recursos a Mobilizar**

A complexidade da manutenção a executar varia, dependendo do sistema em causa. Por este motivo é necessário ter os recursos humanos e materiais que sejam capazes de operar em determinadas circunstâncias. A localização geográfica do sistema a ser intervencionado, poderá ser uma limitação, devido à disponibilidade ou indisponibilidade das ferramentas presentes.

Desta feita a manutenção na Marinha é realizada segundo um dos três escalões:

#### **Manutenção 1º Escalão:**

As manutenções realizadas por este escalão, são as que tem um grau de complexidade menor em comparação com as restantes. As intervenções executadas traduzem-se em substituição de peças e componentes, pequenos ajustes e afinações possíveis de acordo com os meios técnicos que se encontram a bordo. Os recursos humanos recrutados nestas intervenções são essencialmente pessoal pertencente a guarnição do navio em causa.

#### **Manutenção de 2º Escalão:**

O 2º escalão tem uma maior capacidade a nível da manutenção, além de fazer as operações referidas no 1º escalão, ainda está dotado de oficinas em terra que possibilitam melhores condições de operacionalidade. As operações que por motivos de complexidade ultrapassam os meios existentes a bordo são apoiadas por um reforço humano e oficial existente ou posto à disposição do comando administrativo para o qual o meio naval está destacado.

#### **Manutenção de 3º Escalão:**

Trabalhos que devido à profundidade da intervenção ou então à dimensão dos meios técnicos e oficinas a mobilizar, ultrapassam a capacidade de recursos existentes do comando administrativo. Devido à inexistência de tais meios, grande parte destas

operações são tomadas a cabo pelo Arsenal do Alfeite ou então por outra entidade fabril semelhante. Fazem parte desta categoria trabalhos cuja natureza requer apoio exterior, obtido maioritariamente pela direcção técnica.

### **2.3.4 Planos de Manutenção de Longo Prazo**

Além das manutenções mencionadas anteriormente existem outras intervenções a nível da manutenção que por vezes são acompanhadas por actualizações do sistema. Estas intervenções são na grande maioria planeadas com antecedência de acordo com a disponibilidade do sistema em causa. Devido à profundidade e ao abrangente de algumas das acções executadas, estas requerem um período de imobilização considerável. Para o efeito a marinha considerou seis tipos de revisões:

**Grandes Revisões (GR)** - intervenções de grande profundidade realizadas nos meios navais, que normalmente são agendas para coincidir com o ponto médio do ciclo de vida útil do sistema em causa. Grande parte deste tipo de revisões englobam acções de modernização e se necessário algumas alterações.

**Revisões intermédias (RI)** - este tipo de revisões são executadas no último período de indisponibilidade inscrito do ciclo de manutenção para cada meio naval. Consiste principalmente em manutenções preventivas e correctivas, tomadas a cabo em grande maioria pelo 3º escalão. Se necessário poderão incluir alterações previamente estudadas.

**Pequenas Revisões (PR)** - intervenções que têm como objectivo o cumprimento de rotinas de manutenção executadas essencialmente pelo 3º escalão. É responsável pela execução de trabalhos de manutenção corrente e de alterações urgentes aprovadas antecipadamente.

**Revisões assistidas (RA)** - manutenções realizadas principalmente pelo 2º escalão durante um período operacional e são chefiadas pelo comando administrativo no qual o meio naval se encontra atribuído. O tipo de manutenção executada nestas revisões é fundamentalmente correctiva e preventiva.

**Intervenções Pontuais ou Eventuais (IE)** - manutenções principalmente correctivas que devido ao seu carácter urgente ou muito urgente, têm como objectivo realizar uma reparação num curto período de imobilização.

**Docagens (D)** - manutenções de carácter preventivo, que tem como objectivo restaurar acessórios ou válvulas para atingir condições pré-determinadas.

### 2.3.5 Modo de execução

A forma como é executada a manutenção determina o tempo dispensado e os recursos necessários. Dependendo do sistema a ser intervencionado, existem dois processos de execução de manutenção, que melhor se adaptam às limitações de tempo e à operacionalidade do sistema em causa.

Manutenção por intervenção Directa - manutenção preventiva ou correctiva, levada a efeito através da reparação do artigo em manutenção, aguardando o meio naval o seu desfecho final (Marinha, Estado Maior Armada , 1997).

Durante o período de intervenção, a operacionalidade do sistema normalmente fica limitada. Contudo existem técnicas de diagnóstico pertencentes à manutenção por intervenção, que devido à sua natureza não necessitam de pôr em causa a indisponibilidade do objecto de manutenção.

Manutenção por Substituição – Manutenção preventiva ou correctiva, levada a efeito através da substituição, a bordo, do artigo a intervir, por outro novo ou previamente reacondicionando (Marinha, Estado Maior Armada , 1997).

Tem como objectivo minimizar o tempo de imobilização do meio naval durante a manutenção, maximizando a disponibilidade para executar a sua função. Assim sendo a operacionalidade do conjunto superior é apenas afectada no decorrer da substituição do sistema problemático. O artigo substituído passa a ser reparado num lugar com melhores condições de trabalho e temporalmente autónomo relativamente à acção

programada para o conjunto superior, deste modo torna-se um processo de manutenção independente.

Aos sistemas que são intervencionados ao nível da manutenção por substituição, caracteriza-se por “rotáveis”. Dependem essencialmente dos seguintes factores técnicos:

- Diminuição do tempo de execução das acções de manutenção
- A dificuldade, por parte da entidade responsável pela realização da intervenção em prever a duração ou a complexidade técnica.

### **2.3.6 Sistemas de Recolha de Dados**

O funcionamento da descrição e processamento das entradas baseia-se em três impressos (DSM 58; DSM 59; DSM 60) a serem preenchidos pelas unidades responsáveis. Em anexo encontra-se exemplares dos ingressos referentes aos DSM 58 e DSM59. A implementação destes impressos veio a substituir um conjunto de modelos que abrangem todos os navios da Armada, tornando-se mais fácil a consulta dos mesmos.

Esta modificação compactou os anteriores tornando os novos impressos múltiplos. Assim sendo os procedimentos diversificados que eram realizados para o pedido de trabalhos aos organismos fabris ou para relatar a manutenção e o estado do material e que para áreas diferentes variavam, passam a estar unificados, englobando assim o mesmo significado administrativo, técnico e funcional.

O preenchimento dos dados, por parte dos elementos responsáveis, assume um papel intimamente dependente, pois um incorrecto preenchimento ou mesmo incompleto e um encaminhamento deficiente poderá comprometer a informação recolhida na Base de Dados da Manutenção, tornando-se assim, impossível saber o estado do material em cada instante, obtendo-se valores estatísticos incoerentes com a realidade. Portanto o

correcto e completo preenchimento dos impressos, revela ter uma enorme importância na gestão da manutenção, tanto no presente como no futuro.

Para que o sistema funcione como planeado é necessário uma grande disciplina por parte das guarnições dos navios. A adaptação contínua pertence à sua filosofia de concepção.

De seguida são apresentados os três impressos pertencentes a Base de Dados da Marinha:

### **Modelo DSM 58**

Este impresso tem as seguintes funções:

- Relato de intervenções preventivas
- Relato de intervenções correctivas (falhas)
- Relatório anual acerca dos equipamentos
- Relatos diversos
- Descrição de trabalhos a requisitar a organismos fabris
- Resumos de documentação técnica com relevo para o navio
- Requisição de trabalhos entre serviços de bordo

Está desenhado de modo a servir de auxiliar na preparação interna do trabalho pelas entidades fabris.

### **Modelo DSM 59**

Este impresso destina-se a relatar mensalmente certos elementos estatísticos necessários à gestão da manutenção e, em particular, elementos acerca dos equipamentos seleccionados em cada navio que permitam detectar problemas e a obter parâmetros relativos à gestão da manutenção a longo prazo.

Comporta 36 campos, onde são registados mensalmente os valores obtidos dos sistemas seleccionados para o estudo. Está limitado para 20 equipamentos, contudo quando



necessário englobar mais equipamentos na lista, usa-se um novo exemplar do DSM 59, como continuação.

### **Modelo DSM 60**

O presente impresso tem como função documentar o consumo de sobressalentes necessários a disponibilizar nas intervenções, com vista a prever a nível quantitativo o que é utilizado nos diversos trabalhos normalizados de manutenção preventiva e correctiva e ainda a quantidade de sobressalentes necessários para garantir um stock de segurança.

Além da função descrita anteriormente tem outras finalidades, contudo devido a não ter sido necessário para o desenvolvimento da Dissertação, não será aprofundado.

## **CAPÍTULO 3**

# **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Introdução**

Neste capítulo são descritos, de forma abrangente, informação e metodologias necessárias a percepção e desenvolvimentos da dissertação. Houve o cuidado de utilizar fontes fiáveis e actualizadas, contribuindo positivamente para a elaboração deste trabalho.

Com a preocupação de enquadrar a Manutenção no contexto actual, apresenta-se um conjunto de ferramentas tipicamente mais utilizadas na análise de sistemas reparáveis e hoje em dia consideradas mais objectivas.

Sendo este estudo, focado principalmente na análise e modelação das falhas dos geradores a Diesel da classe Vasco da Gama, a revisão bibliográfica centrou-se essencialmente na pesquisa das metodologias necessárias à concretização da dissertação.

### 3.2 Evolução da Manutenção

Não se sabe ao certo quando se iniciou a manutenção, contudo os seus maiores desenvolvimentos ocorreram na segunda metade do século XX.

Desde de sempre o homem tem procurado reparar utensílios que de alguma forma acrescentavam valor ao seu património, logo podemos afirmar que a manutenção é tão antiga como o engenho humano. Assim sendo o primeiro objectivo da manutenção, é fundamentalmente a restauração dos equipamentos para que estes recuperem a operacionalidade pretendida.

A recuperação económica do pós-guerra (2ª Guerra Mundial), impôs às linhas de produção ritmos de trabalho incompatíveis com os tempos de paragem necessários para reparação das falhas. De forma a minimizar o número de falhas, chegou-se à conclusão que seria necessário intervencionar as máquinas durante os tempos mortos da produção. Surge assim a manutenção planeada.

Aproximadamente há três décadas, as organizações aperceberam-se que para ter uma gestão da manutenção adequada seria necessário incluí-la num regime geral de organização de modo a interagir com outras funções (Pintelon, 1992).

Uma vez conseguido isso, a manutenção poderá receber a importância que merece e ser desenvolvida como mais uma função da organização, que gera "produtos" para satisfazer os clientes internos, contribuindo para o cumprimento dos objectivos específicos da organização (Márquez, 2009).

O uso de computadores revelou ser uma ferramenta importante na evolução da manutenção, pois aperfeiçoou o domínio dos processos de fabrico e melhorou o conhecimento do comportamento dos materiais. Permitiu também alcançar novas formas de manutenção que actuam sempre com o mesmo objectivo, ou seja, evitar a ocorrência de falhas, mas intervindo no equipamento de forma localizada.

Não se sabe ao certo qual será o futuro da manutenção, mas certamente terá tendência a diminuir. Hoje em dia já é possível conseguir melhorias na fiabilidade de tal ordem que há equipamentos que atravessam toda a sua vida útil sem sofrerem uma única falha. A manutenção está agora a transferir-se para o fabricante dos bens de equipamento, cada vez mais esta nasce com o equipamento (Dias, 2002).

### **3.3 Principais conceitos da Manutenção**

Pretende-se abordar os principais conceitos no âmbito da manutenção, que se consideram relevantes para o desenvolvimento da investigação.

#### **3.3.1 Disponibilidade**

Existe três indicadores em Manutenção que permitem avaliar a forma como os sistemas estão a cumprir a missão para que foram dimensionados: a Disponibilidade, a Fiabilidade e a Manutibilidade.

O parâmetro que traduz a informação referente à eficiência de um dado equipamento ou processo é a disponibilidade. Dá-nos uma informação de quanto tempo um determinado equipamento está disponível para realizar a operação para o qual foi confinado.

O número de intervenções registado em função do tempo, é caracterizado através da fiabilidade do sistema e quantificado através do MTBF, sendo o tempo necessário à Manutenção correctiva quantificado através do MTTR (Mean Time to Repair). A disponibilidade de um sistema reparável (em regime estacionário) é o indicador que se relaciona directamente com o MTBF e o MTTR, da seguinte forma:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (3.1)$$

Assim sendo a disponibilidade é a probabilidade de um sistema, segundo condições de fiabilidade e manutibilidade definidas, efectuar uma determinada tarefa num período de tempo definido (Gonçalves, 2005).

Segundo (Assis, 1997), a disponibilidade mede a percentagem de  $T_u$  (tempo útil) em relação ao tempo total  $T = T_u + T_p$  (tempo parado):

$$A = \frac{T_u}{T} = \frac{T_u}{T_u+T_p} \quad (3.2)$$

A disponibilidade é uma característica dos sistemas reparáveis e não tem em conta se o órgão falhou e foi reparado em seguida (só tem em consideração o estudo num determinado instante)

A indisponibilidade ou “não disponibilidade” é outro indicador. É complementar da disponibilidade e pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$I = (1 - A) \quad (3.3)$$

Assim sendo, a indisponibilidade caracteriza-se pelo estado de inactividade dos sistemas, ou seja, o tempo de não produção. Pode ser definido como a probabilidade de um sistema não realizar a sua função num determinado instante de tempo ou num intervalo de tempo definido.

### 3.3.2 Fiabilidade

A fiabilidade de um sistema é uma questão importante na avaliação do desempenho deste (Pawan, 2007). É também um indicador da capacidade de um equipamento se manter conforme à sua especificação de origem durante a sua vida.

O comportamento das falhas de um equipamento ou componente num determinado período de tempo, é efectuado com base em técnicas de estatística e cálculo de probabilidades, sendo indispensáveis nos estudos a nível da manutenção.

Segundo (Dias, 2002), a Fiabilidade é muitas vezes designada por Análise de Sobrevivência (Survival Analysis) e constitui um método de análise estatística para estudar as ocorrências e os respectivos tempos dos acontecimentos.

Em Engenharia, a fiabilidade é definida, de uma forma mais precisa, como medida da capacidade de um órgão operar sem falha, isto é, como uma “probabilidade” de operação sem falha (Assis, 1997).

#### **CrITÉRIOS para assegurar a Fiabilidade**

Os parâmetros usados para projectar um equipamento ou componente irão definir a sua fiabilidade. No entanto são frequentemente feitos ajustes durante o seu funcionamento, alterações e actualizações, para a sua melhoria. Estas alterações podem resultar de experiências adquiridas durante o funcionamento. Contudo existem medidas que asseguram uma melhoria significativa de fiabilidade, como por exemplo:

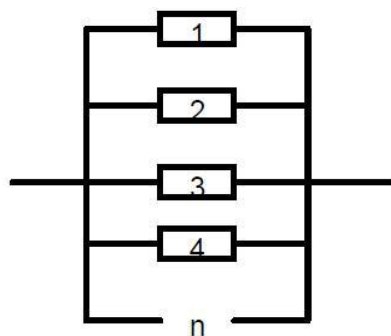
- O sistema não deve funcionar perto dos valores dos limites de segurança.
- Sempre que possível proteger os equipamentos de factores externos e sobre cargas.
- Utilizar equipamentos redundantes.
- Planeamento de manutenções preventivas.

- Na fase de projecto reduzir o máximo possível, o número de componentes do equipamento.

### Sistemas Redundantes

Sistema instalado em paralelo com outros com as mesmas características, podendo funcionar alternativamente em qualquer momento. Estes equipamentos são normalmente utilizados em situações onde a paragem do sistema acarreta graves consequências tanto a nível financeiro como material. A sua utilização é justificada pelo aumento da fiabilidade do sistema, reduzindo assim o risco de paragem dependendo do grau de complemento do equipamento.

De acordo com a sua disposição, podem ser classificados em sistemas Redundantes Totais, Parciais, Sequenciais.



**Figura 3. 1 - Sistema redundante Total; Fonte: (Dias, 2002)**

Para alguns sistemas, a redundância constitui a única solução para melhorar a fiabilidade de um sistema, no entanto a sua utilização provoca alguns inconvenientes, como por exemplo o peso acrescido, o espaço adicional, o aumento do consumo de energia, o aumento da complexidade e o maior custo (Assis, 1997).

### 3.3.3 Manutibilidade

Segundo (Grant, Clyde, & Richard, 1996) a manutibilidade é a capacidade medida de um item ser mantido ou restaurado segundo condições específicas quando a manutenção é realizada por pessoal com determinado nível de competências, utilizando os procedimentos e os recursos previstos, em cada nível de manutenção e reparação.

Pode então ser caracterizada pelo grau de facilidade de acesso à inspecção, substituição ou reparação de componentes, podendo ser avaliada pelo tempo necessário para a sua manutenção.

Existem critérios que podem ser utilizados, contribuindo, para o melhoramento da Manutibilidade e podendo actuar na fase de projecto, na fase de construção ou mesmo na fase de funcionamento, de forma a assegurar um nível adequado de funcionamento, tais como:

- Utilização de sensores capazes de identificar anomalias nos equipamentos
- Ter a sensibilidade na concepção do sistema para permitir um acesso rápido e fácil aos componentes e se for o caso a sua substituição
- Dimensionamento de sistemas que permitam inspecções de rotina, sem que seja necessário a paragem do equipamento.

### 3.3.4 MTBF e MTTR

A Manutenção pode servir-se de indicadores (índices), que sem exprimir toda a verdade sobre a realidade dos sistemas em estudo, são uma informação útil na avaliação do comportamento dos sistemas, nomeadamente, na ocorrência de falhas, nos tempos de reparação e na disponibilidade dos equipamentos (Gonçalves, 2005).



Assim, poder-se-ão apresentar dois indicadores essenciais: o MTBF e o MTTR. Segundo (Cabral, 1998), o tempo médio entre falhas (MTBF) para um determinado sistema, exprime o tempo médio de bom funcionamento, ou seja, o tempo que decorre, em média, entre duas falhas consecutivas, ou numa outra aceção, o tempo médio entre acções de Manutenção correctiva.

Para um determinado período de tempo, o MTBF será:

$$MTBF = \frac{\Sigma TBF}{N} \quad (3.4)$$

Onde:

$\Sigma TBF$  = total de horas de bom funcionamento do sistema;

$N$  = número total de falhas do sistema.

O MTBF é também um quantificador da Fiabilidade dos sistemas, porque uma vez calculado, expressa a aptidão do sistema para funcionar durante um determinado período de tempo em boas condições.

Um outro indicador algo parecido ao MTBF (Cabral, 1998), é o tempo médio para falhar (MTTF) que é um conceito idêntico, mas que apenas se aplica a sistemas não reparáveis.

O tempo médio de reparação (MTTR – *Mean Time To Repair*), segundo (Cabral, 1998), exprime o tempo médio necessário para reparar uma falha, isto é, a média dos tempos de intervenção para a manutenção correctiva.

Para um determinado período de tempo, o MTTR será:

$$MTTR = \frac{\Sigma TR}{N} \quad (3.5)$$

Onde:

$\Sigma TR$  = Total de horas de reparação do sistema;

$N$  = Número total de falhas do sistema.

Este indicador (MTTR), é primordialmente uma medida da manutibilidade do equipamento, isto é, indica a aptidão do sistema para ser reparado para uma condição de bom funcionamento.

### **3.3.5 Manutenção**

Inevitavelmente qualquer equipamento está sujeito a um processo de deterioração. No entanto para que uma instalação assegure a função para a qual foi concebida é necessário que os componentes e subsistemas sejam mantidos em condições de funcionamento. Para isso é fundamental que sejam efectuadas reparações inspecções, rotinas, substituições, correcções de defeitos, etc. A esta envolvente de tarefas e acções dá-se o nome da Manutenção (Gonçalves, 2005).

A manutenção é então definida, por um conjunto de acções aplicadas aos sistemas, equipamentos ou instalações, com o objectivo de melhorar os ciclos de vida, de modo a restaurar a sua condição inicial de funcionamento.

São técnicas destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas, garantindo que estas são intervencionadas nas oportunidades e com alcances certos, de forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior rapidez possível, tendo sempre em conta o factor económico (Cabral, 1998).

### 3.3.6 Tipos de Manutenção

A manutenção dos equipamentos é fundamental para garantir a eficiência do desempenho das instalações técnicas (industriais ou outras) aumentando o tempo médio entre falhas e prolongando a vida útil dos sistemas.

As actividades de manutenção existem para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projectado, no entanto a degradação do mesmo é inevitável pois existem factores que não se podem controlar, como o tempo de uso e o desgaste natural. Desta forma, a manutenção pode desempenhar um papel importante na melhoria da produtividade.

Para que se entenda este conceito tem-se de mencionar os tipos de manutenção existentes, os quais se enumeram e descrevem em seguida. (Note-se que estes conceitos podem se ligeiramente diferentes de acordo com a fonte bibliográfica consultada).

Segundo Cabral (1998), os grandes tipos de manutenção subdividem-se em:

- **Manutenção de melhoria:** neste tipo de manutenção preventiva, assume-se que as falhas ocorrem segundo a curva da banheira, deste modo, a periodicidade da manutenção é planeada de modo a que os vários constituintes se mantenham a funcionar na parte inferior da curva. Portanto, é feita a substituição ou revisão em dados intervalos de tempo, ainda que o equipamento se apresente em bom estado de funcionamento (Cabral, 1998).
- **Manutenção preventiva:** é realizada em intervalos de tempo pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos. Todos os procedimentos são realizados de forma a reduzir ou mesmo evitar a ocorrência de falhas nos equipamentos. O conceito de manutenção preventiva fundamenta-se no estudo da fiabilidade dos equipamentos (Pinto, 1995). Este tipo de manutenção tem sido reconhecida para os sistemas em geral, pois permite aumentar a Fiabilidade reduzindo os custos de manutenção.

Existem essencialmente dois tipos de Manutenção preventiva, compreendidos também como tipos de Manutenção:

- **Manutenção sistemática:** neste tipo de manutenção preventiva, assume-se que os equipamentos apresentam uma taxa de falhas constante. Portanto, é feita a substituição ou revisão em dados intervalos de tempo, ainda que o sistema se apresente em bom estado de funcionamento. Este tipo de manutenção é normalmente aplicado a equipamentos com elevados custos de falha ou cujas falhas provocam grandes tempos de não produção ou ainda quando estas podem por em causa a segurança das pessoas.
- **Manutenção condicionada:** consiste na monitorização de um dado equipamento, sendo que se resume à observação de variáveis externas que permitem não só caracterizar o estado interno do equipamento, como também prever a tendência de evolução do mesmo. Deste modo, será possível evitar acções de manutenção desnecessárias, minimizando também a probabilidade de ocorrência de falha. Destacam-se neste tipo de manutenção actividades como: controlo de vibração, termografia, monitorização eléctrica, estudo do comportamento das superfícies em contacto, ultra-som.
- **Manutenção Correctiva:** É um conjunto de acções que são realizadas após a ocorrência de uma falha ou degradação do sistema, para desempenhar a função requerida. As acções de Manutenção correctiva em equipamentos de laboração contínua, exigem um esforço adicional da equipa de manutenção, pois normalmente obriga a meios de intervenções nem sempre disponíveis no momento da falha (Dias, 2002). Sendo assim a realização de acções correctivas deve ser minimizada através de uma racional planificação das tarefas de Manutenção.

### 3.4 Análise estatística das falhas

Antes de se iniciar uma análise de falhas a um sistema, é necessário compreender um conceito básico subjacente a esta análise ,ou seja, a diferença entre falha e avaria.

Em fiabilidade considera-se falha como sendo a cessação de funcionamento ou, mais frequentemente, degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório.

O conceito de avaria está associado à paragem ou inoperacionalidade do equipamento. Por outras palavras uma avaria está associada a um estado.

Desta feita no presente trabalho, de modo a evitar confusões substituiu-se a palavra avaria por falha.

Para (O'Connor, 2002), a preparação de uma base de dados com registos rigorosos de todas as ocorrências, que de alguma forma possam influenciar a fiabilidade, são um elemento de trabalho imprescindível. Assim sendo acontecimentos exteriores e mudanças de condições de trabalho que possam influenciar a fiabilidade, não devem ser desprezados.

A ordem cronológica das falhas é de extrema importância na análise estatística de sistemas reparáveis. Este facto pressupõe que se equacionem duas variáveis métricas importantes: o tempo de vida do sistema no momento da falha e o tempo desde a última falha. Contudo nem sempre há a preocupação de considerar estas duas variáveis em separado, resultando em algumas incorrecções no estudo da fiabilidade de sistemas reparáveis.

### 3.4.1 Sistema Reparável

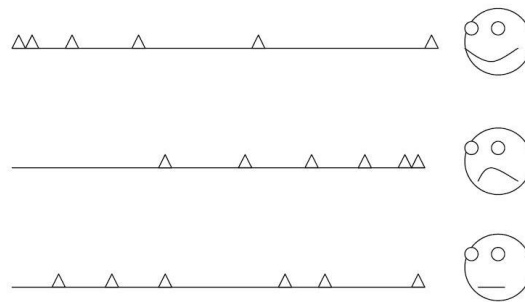
Um sistema reparável (SR), pode ser definido como um conjunto de vários subsistemas ou componentes, que interagem entre si com o objectivo de desempenhar uma ou mais funções que após cada falha, são reparados para desempenhar a sua função. Caracteriza-se estatisticamente um sistema reparável como aquele em que, após cada falha, o sistema é reparado para total desempenho da missão, até à próxima falha (Ascher & Feingold, 1984).

Os sistemas reparáveis são frequentemente sujeitos a acções de manutenção preventiva ou correctiva que podem influenciar os intervalos de tempo entre falhas. Assim, ao iniciar qualquer estudo, é fundamental analisar a tendência dos dados disponíveis.

Segundo (O'Connor, 2002) a fiabilidade para os SR, é a probabilidade de uma falha não ocorrer para um determinado período de interesse. A taxa de ocorrências de falhas (ROCOF- Rate of Occurrence Of Failure) pode ser calculada, contudo esta expressa a probabilidade instantânea de falha por unidade de tempo.

Há que ter presente uma noção importante, em que não é só através da modelação probabilística e análise estatística que se melhora a fiabilidade, é necessário também efectuar alterações ao projecto dos sistemas, melhorar o controlo de qualidade, monitorizando a produção, os ensaios e o funcionamento dos sistemas (Ascher & Feingold, 1984).

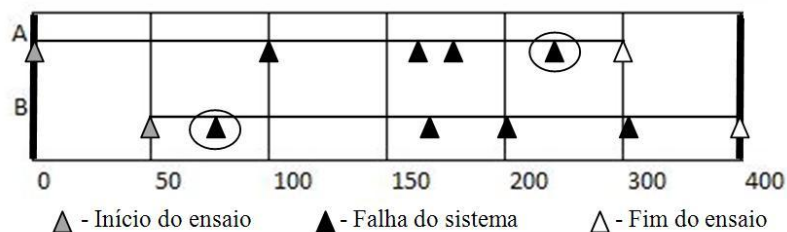
De acordo com a sua representação gráfica de falhas sequencial, os sistemas podem ser felizes, tristes ou neutros, tal como se representa a seguir:



**Figura 3. 2 - Sistemas felizes, tristes ou neutros; Fonte: (Ascher & Feingold, 1984)**

Um sistema não reparável está normalmente associado aos componentes ou peças simples, cuja falha implica a sua inutilidade. Um fusível é um exemplo de um sistema não reparável. No caso dos componentes será importante o conhecimento da distribuição estatística que modela o seu tempo de vida, de forma a poder estimar a melhor periodicidade de substituição preventiva.

Por vezes durante o estudo de sistemas reparáveis não é possível contabilizar quanto tempo decorreu até a ocorrência de uma falha, denominando-se assim por dados censurados, que são observações incompletas devido ao seu estágio no processo. Quando um sistema inicia o seu funcionamento antes do tempo de ensaio ( $T$ ), designam-se assim por dados censurados à esquerda. Contudo, também pode acontecer que o tempo de ensaio ( $T$ ) termine antes da ocorrência do acontecimento (falhas do respectivo equipamento), assim sendo denominam-se por dados censurados à direita. Na figura 3.3 é possível visualizar no sistema “A” um exemplo de dados censurados à direita e no sistema “B”, dados censurados à esquerda.



**Figura 3. 3 – Falhas em função das horas de funcionamento dos sistemas**

### 3.5 Taxa de falhas

Considerando o funcionamento de um sistema ou de um dos seus componentes, durante um dado período de tempo, a taxa de falhas é dada pela seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{\text{Nº de Falhas}}{\text{Tempo Total de Funcionamento}} \quad (3.6)$$

Esta está relacionada com o processo estocástico que modela o número de falhas ao longo do tempo (Dias, 2002). Assume-se como a principal medida da fiabilidade e é definida como a derivada em ordem ao tempo do número esperado de falhas.

Um sistema reparável poderá estar sujeito a várias falhas dependentes ou não de factores internos ou externos ao próprio sistema que podem influenciar a sua taxa de ocorrência de falhas (ROCOF – *Rate Of Occurrence Of Failures*).

- **(ROCOF) decrescente**

Um sistema com ROCOF decrescente, tem uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo, o que pode significar uma taxa de ocorrências de falhas (ROCOF) decrescente (Dias, Pereira, & Leitão, 2005).

- **(ROCOF) constante**

Como se pode verificar na figura 3.4 os dados aparecem numa sequência aleatória. Este comportamento é característico de um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), com uma taxa de falhas constante (Dias, Pereira, & Leitão, 2005).



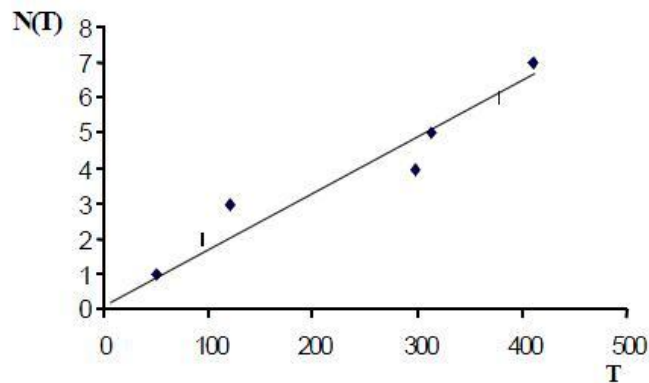


Figura 3. 4 - Exemplo de um sistema com ROCOF constante; Fonte: (Dias, Pereira, & Leitão, 2005)

- **(ROCOF) crescente**

O sistema com ROCOF crescente é caracterizado, pela diminuição ao longo do tempo do intervalo entre falhas. Este tipo de comportamento pode ser provocado pela influência de um operador, um componente com uma função de risco crescente ou então quando o sistema atinge o tempo de vida útil (Dias, Pereira, & Leitão, 2005).

### 3.5.1 Teste de Laplace

Segundo (Dias, 2002), considerando o pressuposto de i.i.d. (independentes e identicamente distribuídos) verdadeiro, as falhas ocorrem segundo um Processo de Poisson Homogêneo, sendo o intervalo de tempo entre falhas descrito pela distribuição Exponencial Negativa (do ponto de vista do sistema reparável, e não necessariamente dos componentes nele instalados). É importante mencionar que o modo de aplicação do Teste de Laplace varia consoante se trate de um teste limitado pelo tempo ou pelo número de falhas.

### Teste limitado por tempo:

$H_0$  : Taxa de falhas constante

$H_1$  : Taxa de falhas não constante

$\alpha = 0,05$ : Nível de significância

$$Z_0 = \sqrt{12 \times n_f} \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f \times T} - 0,5 \right] \quad (3.7)$$

em que:

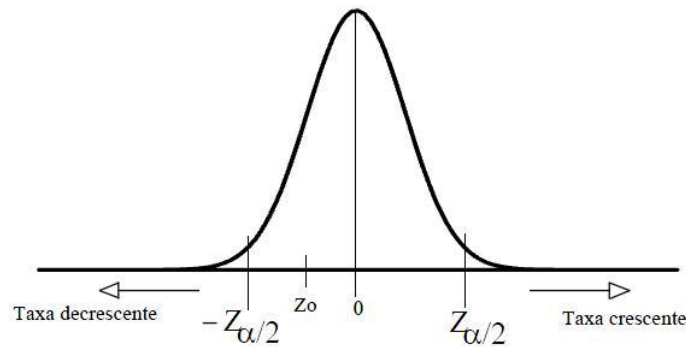
$n_f$  = Número de componentes que falharam

$T$  = Duração do ensaio

$\tau_i$  = Idade do sistema para a falha de ordem  $i$

No pressuposto de um Processo de Poisson Homogéneo, se  $|Z_0| > Z_{\frac{\alpha}{2}}$  rejeitamos  $H_0$ .

Nestas circunstâncias, para valores de  $Z_0$  fora do intervalo de confiança, por valores negativos pronunciam a presença de um Processo de Poisson não Homogéneo com tendência para Taxas de Falhas Decrescentes, e valores positivos Taxas de Falhas Crescentes.



**Figura 3. 5 - Curva Norma Reduzida; Fonte: (Dias, 2002)**

### Teste Limitado por Falhas

Se o teste for limitado por falha, tem-se  $Z_0$  através da seguinte expressão:

$$Z_0 = \sqrt{12 \times (n_f - 1)} \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_f-1} \tau_i}{n_f \times T_{n_f}} - 0,5 \right] \quad (3.8)$$

A formulação das hipóteses é igual ao teste anterior. Este teste permite analisar se o componente ou sistema segue um Processo de Poisson Homogêneo ou não. No caso mais vulgar, se a taxa de falhas for constante, podemos modelar o intervalo de tempo entre falhas por uma distribuição Exponencial Negativa. Caso contrário temos de utilizar modelos específicos para os Processos de Poisson não Homogêneos.

#### 3.5.2 Processos de Poisson

Para a análise do comportamento de determinado sistema reparável é necessário conhecer a ordem cronológica de ocorrências das falhas. Pois só conhecendo o

comportamento aleatório, ou não, da ocorrência das falhas se pode saber o respectivo Processo de Poisson (Marques, Baptista, & Dias, 2009).

### **Processo de Poisson homogéneo (PPH)**

Um Processo de Poisson Homogéneo caracteriza-se por uma taxa de falhas constante no tempo (ROCOF constante).

Um *PPH* define-se por uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas, i.i.d., sendo estas exponencialmente distribuídas. Um processo estocástico pontual  $\{N(t), t \geq 0\}$  é um *PPH* se:

i.  $N(0) = 0$

ii.  $\{N(t), t \geq 0\}$  Incrementado de forma independente

iii. O número de falhas em qualquer intervalo  $\Delta t$  seguir uma distribuição de Poisson, com um valor médio dado por  $m = \lambda_0 \times \Delta t$ .

Deste modo, a probabilidade de ocorrerem  $n_f$  (falhas) num intervalo de tempo  $\Delta t$  é dada por,

$$P\{N(\Delta t) = n_f\} = \frac{e^{-m} m^{n_f}}{n_f!} \quad (3.9)$$

### **Processo de Poisson não Homogéneo (PPNH)**

Através do teste de Laplace é possível identificar facilmente os PPNH, sendo que sempre se rejeita a hipótese nula se está perante um Processo de Poisson não Homogéneo. Assim sendo um PPNH caracteriza-se por uma taxa de falhas dependente

do tempo, sempre que os intervalos entre falhas tendem a diminuir (ROCOF crescente) ou a aumentar (ROCOF decrescente). A taxa de falhas destes processos, são caracterizadas por uma taxa de falhas dependente do tempo, e é representada pela seguinte expressão:

$$\rho(t) = \frac{dN[t]}{dt} \quad (3.10)$$

Onde  $N[t]$ , corresponde ao número de falhas acumuladas entre 0 e  $t$ .

### 3.5.3 Curva em forma de “banheira”

Com base em experiências práticas constatou-se que a taxa de falhas de um determinado sistema, varia com o seu tempo de funcionamento de uma forma que é conhecida como a «curva da banheira». A figura 3.6, esquematiza a curva da banheira.

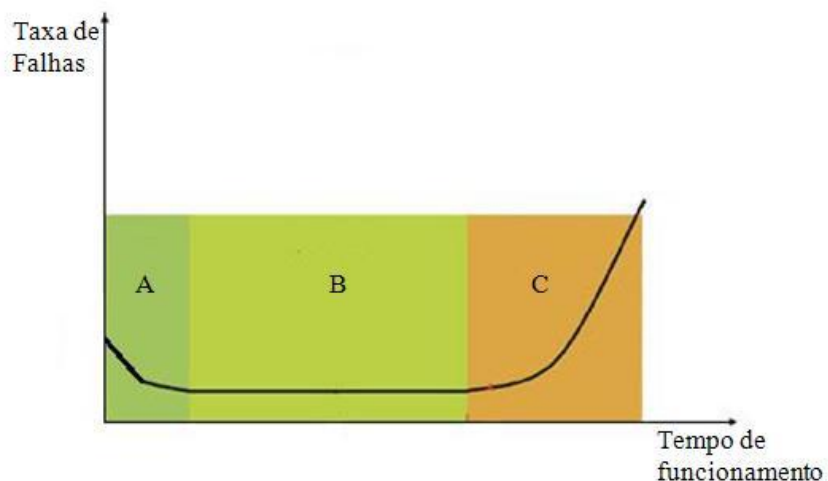


Figura 3. 6 - Evolução da taxa de falhas em função do tempo

Através da figura podemos constatar que na zona “A” a taxa de falhas diminui com o tempo, sendo este o período conhecido de «mortalidade infantil», pois é, onde se verifica falhas devido a defeitos de fabrico, deficiências de montagem, má condução por inexperiência etc.

Após o comportamento referido anteriormente, segue-se o segundo período onde se verifica um comportamento a nível das falhas estável, isto é, taxa de falhas constante, que ocorrem com carácter aleatório - zona “B”. As falhas ocorridas neste período de vida do sistema ou componente em norma não resultam de uma causa específica, podendo estar relacionadas com valores de esforços ou resistências que ultrapassam os máximos admissíveis, ou ainda com condições externas adversas de ambiente (humidade, poeiras, etc.)

Segue-se a fase final da curva – zona “C”. Verifica-se que nesta fase há uma tendência para que a taxa de falhas cresça ao longo do tempo. O resultado deste comportamento poderá estar relacionado com fadiga acumulada, progressivo desgaste, etc.

É de verificar que o período mais significativo é aquele onde a taxa de falhas é constante, pois normalmente a sua duração é superior aos restantes períodos.

### **3.6 Rotáveis**

O rotável é um equipamento, órgão ou peça que pode ser aplicado, indistintamente, numa série de sistemas ou equipamentos em substituição de outros idênticos. Por exemplo o injector do gerador, ou então a bomba de água doce acoplada a este. Normalmente é um sistema que devido à sua complexidade ou mesmo à dificuldade apresentada quando reparado, traduz-se num maior tempo de reparação.

São mantidos em estado operacional um conjunto de componentes ou equipamentos prontos a serem utilizados em substituição de outros onde seja necessário efectuar trabalhos de manutenção (Cabral, 1998).

### 3.7 Kaplan-Meier

O método de Kaplan-Meier, também conhecido por estimador do produto limite é um método muito útil na estimativa da função de fiabilidade.

A aplicação do Método de Kaplan-Meier ao histórico de dados, é uma mais-valia, na medida em que permite estimar de forma não paramétrica a função de sobrevivência de um dado sistema.

O estimador de Kaplan-Meier, também conhecido por estimador do Produto Limite, é obtido através da seguinte expressão:

$$R(t) = \prod_{j|t_j < t} \left( \frac{n_j - d_j}{n_j} \right) \quad (3.11)$$

em que:

$n_j$  = número de falhas registadas

$d_j$  = número de falhas não censuradas

$t_j$  = duração das falhas

A variância é obtida através da seguinte expressão:

$$\hat{V}ar = \frac{\sum_{j|t_j < t} \frac{d_j}{n_j(n_j - d_j)}}{\left[ \sum_{j|t_j < t} \ln \left( \frac{n_j - d_j}{n_j} \right) \right]^2} \quad (3.12)$$

O intervalo de confiança de  $1-\alpha$  para a função estimada de Fiabilidade é dado por:

$$[\hat{R}(T)]^{exp\left\{\pm 1,65[\hat{V}ar]^{\frac{1}{2}}\right\}} \quad (3.13)$$

Sendo a estimativa de  $R(t)$ , a generalização directa da função fiabilidade amostral para dados censurados.

A aplicação deste método na estimação da função de fiabilidade, é importante na tomada de decisão no que respeita aos sistemas reparáveis, pois, para além de ser um método de simples aplicação, o seu *output* é de fácil interpretação (Marques, 2009).

Este método permite identificar não só a família de equipamentos mais crítica, como também qual dos equipamentos da família é o mais crítico do ponto de vista da fiabilidade e da função de risco.



## **CAPÍTULO 4**

# **RECOLHA ANÁLISE E MODELAÇÃO DAS FALHAS DOS GERADORES A DIESEL E SISTEMAS AUXILIARES**

### **4.1. Introdução**

A recolha e tratamento das falhas dos geradores diesel e sistemas auxiliares é baseada em dados estatísticos fortemente relacionados com a variável tempo, logo é fundamental a compreensão e preparação da base de dados com todos os registos precisos das ocorrências.

Uma vez que na base de dados onde são registadas todas as falhas referentes aos navios da Marinha é muito vasta, foi necessário simplificá-la, de forma a criar uma tabela mais acessível e fácil de utilizar.

Como é pretendido aplicar métodos de análise estatística no estudo do comportamento das respectivas ocorrências, a forma como estes são obtidos pode condicionar todo o

trabalho. Por este motivo, antes de dar início ao estudo é necessário estabelecer o tipo de problema, as condições fronteira (início/fim) e as hipóteses assumidas.

Nesta área falou-se, de todo o trabalho de obtenção dos dados referentes às fragatas Vasco da Gama.

## **4.2. Tratamento/Análise da Taxa de Falhas do Sistema**

Devido a classe Vasco da Gama ser constituída por três fragatas, o tratamento e análise das observações foi realizado independentemente para cada uma delas. De forma a organizar o estudo escolheu-se de forma aleatória qual seria a sequência a seguir para a análise individual de cada fragata, assim sendo em primeiro a A, seguindo-se a B e por fim a C.

A base de dados fornecida para o estudo, contém registos de falhas desde 2005, no entanto as falhas anteriores a 2007 revelaram ser pouco fiáveis, pois muitas das ocorrências não foram correctamente registadas. Assim sendo o período de estudo escolhido para a análise, está compreendido entre Fevereiro de 2007 e Novembro de 2009.

Durante o período de estudo duas das fragatas foram abrangidas pelo planeamento de manutenção (fabricos), ou seja, intervalo de tempo que as fragatas se encontram inoperacionais por estarem a receber intervenções profundas ao nível da manutenção, não fazendo sentido para esse período estudar o comportamento dos geradores, pois poderia induzir em erro. Assim sendo foram retirados ao período de estudo original (2/2007 a 11/2009), os dias para os quais as fragatas estiveram inoperacionais. Esta abordagem fará com que o período de estudo seja diferente para cada uma das fragatas.

Neste capítulo mostram-se os métodos utilizados no tratamento dos dados, pois devido a incorrectos preenchimentos das bases de dados, tornou-se um trabalho minucioso na

medida em que foi necessária a realização de um número considerável de reuniões com os engenheiros navais responsáveis, para esclarecimento de dúvidas.

De modo a facilitar a percepção do comportamento das falhas do sistema ao longo do tempo, utilizou-se a análise gráfica, pois possibilita uma rápida compreensão do desenvolvimento das ocorrências em função do tempo. De acordo com a ordem cronológica das falhas registadas para cada fragata (anexo B.7, B.20, B.33), recorreu-se ao teste de Laplace de modo a identificar a presença de possíveis Processos de Poisson.

Como foi referido anteriormente cada uma das fragatas está equipada com 4 geradores. De modo a identificar cada um deles, foi-lhes atribuído um número que está relacionado com a localização dos mesmos dentro do navio. Assim sendo os geradores nº1 e nº2, encontram-se à proa (frente) da fragata, enquanto os geradores nº3 e nº4 à popa (trás). Os geradores nº1 e nº3, localizam-se do lado bombordo (esquerda) e os outros dois do lado estibordo (direita). A figura 4.1 mostra a disposição dos geradores dentro do navio.



**Figura 4. 1 - Localização dos geradores, nas fragatas Vasco da Gama**

Com o objectivo de evitar repetições na análise dos 12 geradores da classe Vasco da Gama, apresenta-se a análise gráfica de apenas alguns deles, revelando a metodologia utilizada no tratamento e determinação da taxa de falhas. No entanto para os restantes

geradores apresenta-se de forma resumida os pontos mais importantes da análise realizada. Todos materiais (gráficos, tabela, expressões) referentes a esta análise que não estão neste capítulo encontram-se no anexo B.

#### 4.2.1 Fragata A

Realizou-se para cada gerador uma análise com o objectivo de interpretar o comportamento individual de cada um dos quatro geradores, a nível das falhas ocorridas.

A figura seguinte indica o período de estudo, sendo possível verificar a interrupção devido ao planeamento de manutenção que teve início a 09/2008. O período de estudo para a fragata A contabiliza então um total de 611 dias de operacionalidade, uma vez que teve início a 02/2007 e terminou a 09/2008.



Figura 4. 2 - Planeamento da Manutenção da fragata A

#### Análise da Taxa de Falhas dos Gerador a Diesel

Na tabela 4.1, apresenta-se por ordem cronológica os tempos das ocorrências que se verificam no gerador a diesel da fragata A. Na primeira coluna está representado o número da falha, na segunda coluna a data na qual esta ocorreu e por fim na terceira coluna o dia no qual ocorreu, a contabilizar desde o início do estudo.

**Tabela 4. 1 - Horas acumuladas por falha ocorrida (gerador nº2, fragata A)**

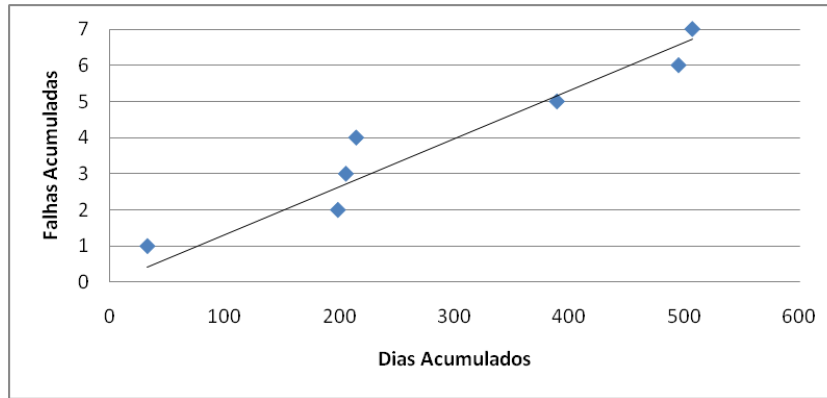
1	01-02-2007	32
2	17-07-2007	198
3	24-07-2007	205
4	02-08-2007	214
5	24-01-2008	389
6	09-05-2008	495
7	21-05-2008	507

As falhas apresentadas na tabela 4.1, foram tratadas individualmente, para se certificar que todas as ocorrências registadas foram originadas através de manutenções correctivas. A título de exemplo, inicialmente para o mesmo gerador obteve-se 19 ocorrências, no entanto apenas 7 revelaram ser efectivamente falhas correctivas.

Através do gráfico 4.3, é possível verificar que as falhas não estão distribuídas uniformemente. Este comportamento pode ser justificado pelo facto da fragata normalmente utilizar dois geradores, ficando os restantes como redundantes, embora em casos especiais seja necessário recorrer a pelo menos mais um gerador. Assim sendo e comparando a data da ocorrência das falhas com as horas de funcionamento, verifica-se que a proximidade das falhas 2, 3 e 4 pode resultar do número de horas excessivo de funcionamento que esta registou no mês de Junho de 2007. O número de horas de funcionamento mensal dos geradores da fragata A encontram-se no anexo B.7.

Poder-se-á no entanto estimar através da figura 4.3 que a taxa de falhas é constante, uma vez que é possível ajustar, embora com alguma discrepância, uma recta ao conjunto de pontos, prevendo assim que o sistema segue um Processo de Poisson Homogéneo.

Os valores apresentados na tabela 4.1, estão representados graficamente na figura seguinte. A representação gráfica dá-nos uma ideia grosseira da tendência da taxa de falhas.



**Figura 4. 3 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº2, fragata A)**

De forma a confirmar a estimativa realizada a partir da análise gráfica da figura 4.3, aplicou-se o teste de Laplace ao sistema, segundo a expressão (3.7) apresentado no capítulo 3, para os seguintes parâmetros:

$$\sum_{i=1}^n \tau_i = 2040$$

$$n_f = 7$$

$$T_0 = 611$$

$$Z_0 = \left( \sqrt{12 \times n_f} \right) \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n_f \times T_0} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \times 7}) \times \left[ \frac{2040}{7 \times 611} - 0,5 \right] = -0,21$$

Para um nível de significância  $\alpha=0,10$ , vem  $Z_{\frac{\alpha}{2}} = Z_{0,05} = 1,645$  (anexo C.1)

Uma vez que  $|Z_0| < Z_{\frac{\alpha}{2}}$ , aceita-se  $H_0$ , podendo deste modo se confirmar a análise gráfica anterior. Assim sendo, estamos perante um Processo de Poisson Homogéneo

(PPH) com uma taxa de falhas constantes. Como o valor  $Z_0$  é negativo, prevê-se um ligeiro decréscimo da taxa de falhas.

Para os restantes geradores de fragata A, analisou-se resumidamente os parâmetros mais relevantes.

Assim sendo verificou-se que o gerador nº1 é o que apresenta em módulo o valor mais elevado de  $Z_0$  (1,33), uma possível causa para este comportamento, poderá estar relacionado com o planeamento utilizado, uma vez que da análise a base de dados DSM59, para o período de estudo em questão, verificou-se que houve em alguns meses excesso de horas de trabalho, nomeadamente em Maio e Junho de 2008. No entanto apesar de demonstrar um comportamento inconstante, está-se perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), prenunciando uma taxa de falhas com um ligeiro crescimento.

Depois de tratadas as ocorrências do gerador nº3, ficaram registadas apenas 4 falhas de um total inicial de 13. Da análise individual das ocorrências a que menos se aproxima da linha de tendência é a 1ª falha, mas como o sistema já se encontrava em funcionamento antes de o estudo ter começado, implica que esta seja uma falha redundante. As restantes falhas apesar de não serem equidistantes aproximam-se da linha de tendência.

Por último o gerador nº4, é o que apresenta menos falhas registadas, apenas 3. Apesar das poucas intervenções a nível da manutenção correctiva, o gerador nº4 comporta-se segundo um PPH. É de referir que este gerador em média foi o que trabalhou o maior número de horas, no entanto o mês no qual o gerador registou mais horas de funcionamento é inferior em comparação com o número de horas máximo mensal dos restantes três geradores da fragata. Assim sendo a estratégia utilizada pode ter influenciado no baixo número de falhas registadas, verificando-se um controlo adequado do número de horas de funcionamento do geradores.

## Análise das Falhas

A tabela seguinte tem como objectivo identificar quais os tipos de falhas que mais contribuíram para o mau funcionamento dos gerador A.

Na primeira coluna está discriminado qual o tipo de causa, isto é, qual o subsistema que provocou a falha no gerador. Na segunda, terceira e quarta coluna encontra-se respectivamente o valor da frequência absoluta, a frequência relativa e a frequência relativa acumulada.

**Tabela 4. 2 - Número de ocorrências de falha por tipo de causa (fragata A)**

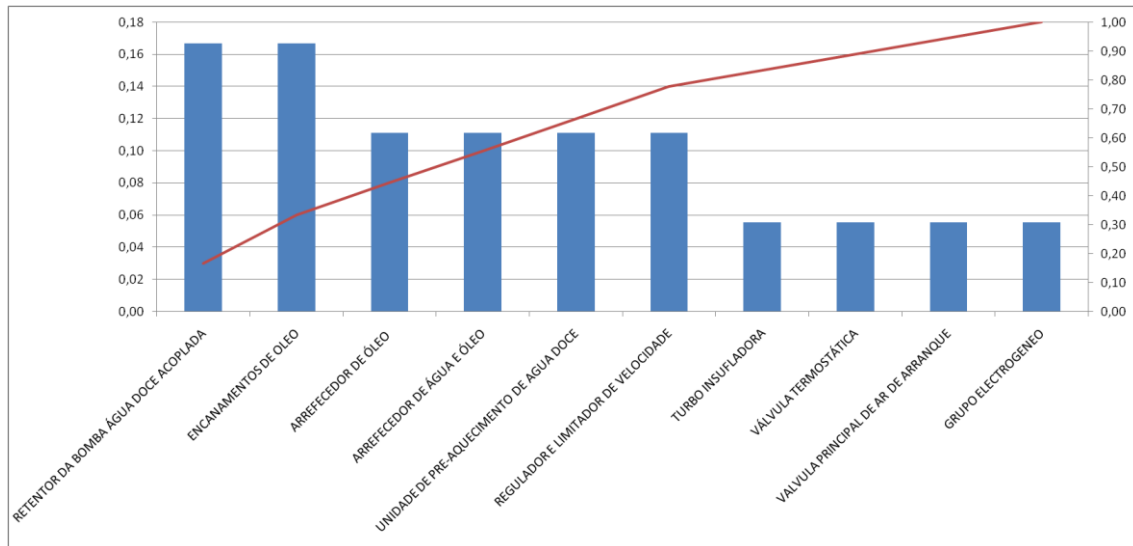
Tipo de causa	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
RETENTOR DA BOMBA ÁGUA DOCE ACOPLADA	3	0,17	0,17
ENCANAMENTOS DE ÓLEO	3	0,17	0,33
ARREFECEDOR DE ÓLEO	2	0,11	0,44
ARREFECEDOR DE ÁGUA E ÓLEO	2	0,11	0,56
UNIDADE DE PRE-AQUECIMENTO DE AGUA DOCE	2	0,11	0,67
REGULADOR E LIMITADOR DE VELOCIDADE	2	0,11	0,78
TURBO INSUFLADORA	1	0,06	0,83
VÁLVULA TERMOSTÁTICA	1	0,06	0,89
VALVULA PRINCIPAL DE AR DE ARRANQUE	1	0,06	0,94
GRUPO ELECTROGENEO	1	0,06	1,00
Total	18	1,00	-

Para uma melhor percepção do tipo de falhas, construiu-se o diagrama de Pareto (figura 4.4) com base nos valores apresentados na Tabela 4.2.

Embora da interpretação da figura 4.4, não se verifique nenhuma falha que mereça uma especial atenção nos geradores da fragata A, conclui-se que as falhas mais repetitivas foram o “retentor da bomba de água doce acoplada” e os “encanamentos de óleo”, pois foram responsáveis por mais de 30% das incidências registadas. Os sistemas de arrefecimento de água e óleo, assim como a unidade de pré-aquecimento de água doce e o regulador e limitador de velocidade, apesar da sua frequência absoluta não ser a mais elevada, contribuíram com uma parcela de 40% do total de ocorrências registado, sendo então este grupo de subsistemas que mais prejudicaram o bom funcionamento do gerador. É de referir ainda que em alguns casos as falhas não foram correctamente preenchidas, não sendo possível identificar qual o subsistema ou componente



responsável pela falha. Perante esta situação o tipo de causa fica identificado por “Grupo Electrogeneo” como é o caso da última falha da tabela 4.2.



**Figura 4. 4 - Diagrama de Pareto dos tipos de causa das falhas ocorridas na fragata A**

#### 4.2.2 Fragata B

A fragata B contabilizou um número total de dias de operacionalidade superior às restantes fragatas da classe Vasco da Gama. Tal acontecimento, está relacionado com o facto de no início do estudo a fragata se encontrar operacional e por motivos financeiros e de disponibilidade, o navio não ter sido intervencionado como estava previsto pelo Planeamento de Manutenção (fabricos) na data pré-estabelecida, resultando assim um total de 1065 dias de operacionalidade.

A figura seguinte, representa o Planeamento de Manutenção referente à fragata B.

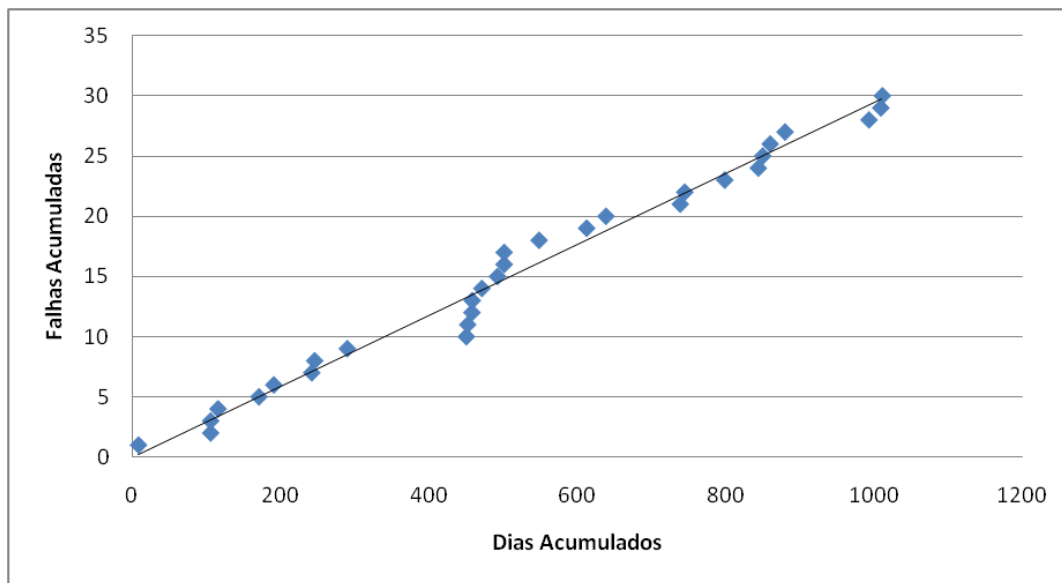


**Figura 4. 5 - Planeamento da Manutenção da fragata B**

A barra desenhada na figura 4.5, situada entre o 3º trimestre e 4º trimestre do ano de 2009, representa o espaço de tempo segundo o qual a fragata entraria no estado de inoperacionalidade, ou seja, intervenções a nível da manutenção (fabricos).

Da análise da figura 4.6, verifica-se que o gerador nº4 da fragata B apresenta um comportamento invulgar, uma vez que apresenta, em certos intervalos de tempo, falhas muito próximas umas das outras, como é possível observar no intervalo dos 400 aos 600 dias ([10;18] falhas). Este tipo de comportamento terá de ser analisado, através do tratamento individual de cada falha. De uma análise mais aprofundada e recorrendo aos relatos das manutenções correctivas realizadas, constata-se que foram realizadas intervenções a nível da cabeça do motor e substituição das camisas. Comparando o período onde ocorreu este conjunto de falhas com as horas de funcionamento (anexo B.20) do gerador a diesel para o mesmo período de tempo, verifica-se que este esteve na maior parte do tempo inoperacional, como era esperar, embora nos meses de Agosto e Outubro se encontrou em grande parte do tempo em funcionamento. Em comparação com os restantes geradores da fragata, constata-se que foi o que apresentou com menos horas de funcionamento. Uma possível justificação para tal comportamento, pode derivar do número de falhas ocorridas e da profundidade das respectivas acções de manutenção executadas.

No entanto constata-se que é possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos. A tendência será então para um Processo Poisson Homogéneo (PPH). Realizado o teste de Laplace, constata-se que o sistema pertencem aos PPH, uma vez que  $|Z_0| = 0,1 < Z_{\frac{\alpha}{2}}$ .



**Figura 4. 6 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº4, fragata B)**

De seguida apresenta-se de uma forma resumida a análise realizada aos geradores nº1, nº2, e nº3 da fragata B.

O gerador nº1, foi o segundo gerador da fragata que registou menos falhas, no entanto as 22 falhas registadas apresentam uma taxa praticamente constante ( $Z_0=0,07$ ). Assim sendo do estudo do comportamento ao nível das horas de funcionamento, conclui-se que foi o que esteve em funcionamento mais horas, no entanto só ultrapassou as 300 horas de funcionamento mensais quatro vezes para o período de estudo em questão, deduzindo deste modo que a estratégia utilizada para o seu funcionamento revela ser satisfatória, na medida que não houve necessidade de paragens prolongadas para efectuar acções correctivas.

Da análise realizada ao desempenho do gerador nº2, registou-se um grande número de falhas consecutivas próximo dos 200 dias (anexo B.16). Recorrendo à base de dados DSM 58 é possível averiguar quais foram as falhas que ocorreram neste período. Constata-se que os sistemas responsáveis pelas falhas foram a bomba de água salgada, o sistema de comando do taquímetro e a válvula de água salgada. Neste período o gerador registou muito pouca actividade a nível de horas de funcionamento, o que já era de

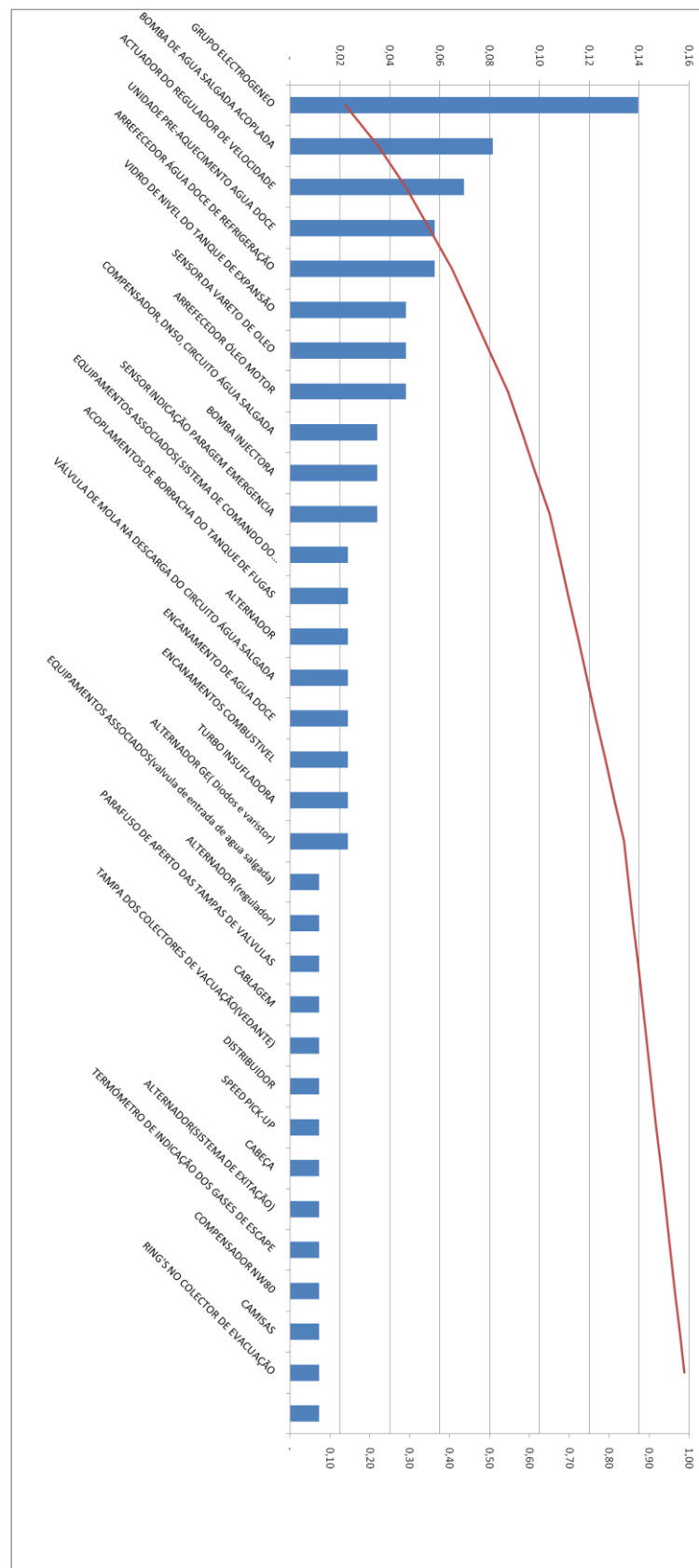
esperar face ao número de intervenções correctivas de que foi alvo. No final do período de estudo volta a ocorrer uma série de falhas consecutivas no regulador e limitador de velocidade e no turbo da insufladora, sendo uma das possíveis razões para a ocorrência deste tipo de comportamento, justificada pela ausência de manutenção preventiva como é o caso da W5 que deveria ter ocorrido após 6000 horas de funcionamento. É importante referir que o navio aguardava a entrada para fabricos desde Setembro de 2009, o que só veio a acontecer mais tarde, resultando num acumular de horas de trabalho extra, que podem ter provocado desgaste nos subsistemas, originando um maior número de falhas.

O gerador nº3 da fragata A, registou o menor número de falhas de toda a fragata. No entanto realizado o teste de Laplace, constata-se que este pertence ao PPH, prevendo um ligeiro crescimento da taxa de falhas, uma vez que  $Z_0$  é positivo.

### **Análise das Falhas**

Para uma melhor interpretação da causa das falhas verificadas na fragata B recorreu-se ao diagrama de Pareto.

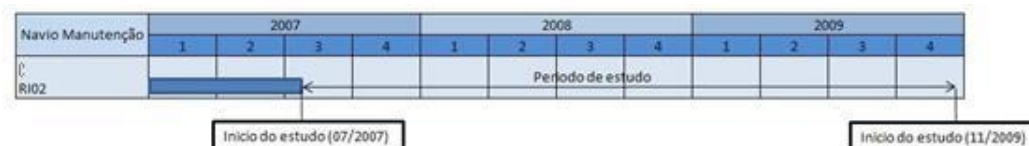
Da análise da figura 4.7 conclui-se que o sistema responsável pelo maior número de falhas nesta fragata foi a bomba de água salgada acoplada, seguido do actuador e regulador de velocidade, que totalizaram aproximadamente 30% das falhas ocorridas. Os sistemas de arrefecimento e aquecimento da água e óleo, foram responsáveis por aproximadamente 17% das falhas registadas no navio. As restantes falhas, devido ao número de ocorrências, não representam motivo de interesse para o estudo.



**Figura 4. 7 - Diagrama de Pareto dos tipos de causas das falhas ocorridas na fragata B**

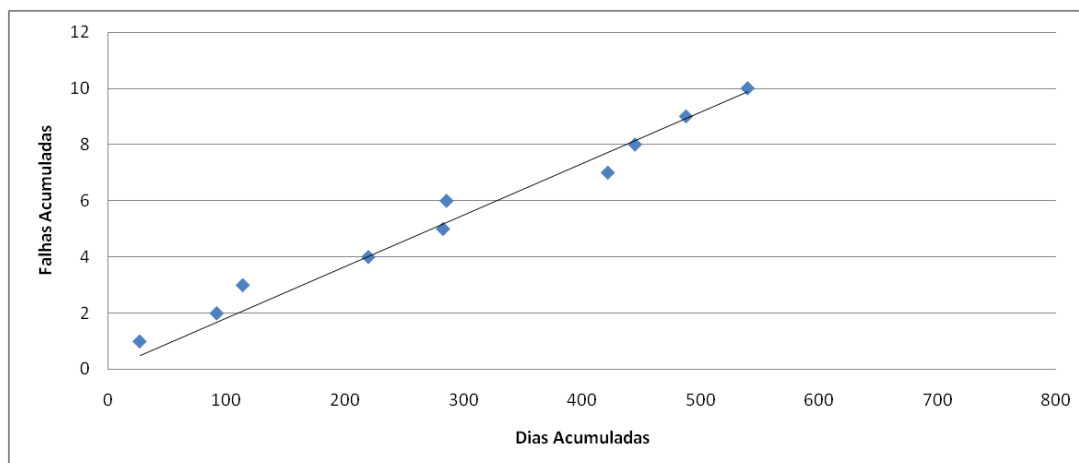
### 4.2.3 Fragata C

Para finalizar a análise da taxa de falhas da classe Vasco da Gama falta somente analisar os geradores a diesel da fragata C. Estes foram os que registaram maior tempo de funcionamento de toda a classe, no entanto o seu período de estudo não começou em Fevereiro de 2007, porque a fragata encontrava-se em manutenções gerais (fabricos). Assim sendo o estudo iniciou-se em Julho de 2007 e totalizou um intervalo de tempo de 854 dias. A figura abaixo ilustra o Planeamento da Manutenção para a fragata C.



**Figura 4. 8 - Planeamento da Manutenção da fragata C**

A figura 4.9 permite analisar graficamente o comportamento das falhas em função do tempo, do gerador nº1 da fragata C. Assim sendo, da interpretação gráfica da figura verifica-se que a primeira falha ocorre 27 dias depois da fragata ter saído de uma manutenção geral (fabricos), o que nos leva a deduzir que a origem da falha, pode estar relacionada com uma incorrecta instalação do subsistema. As restantes falhas registadas parecem agrupar-se segundo 3 conjuntos, pois como é possível verificar, existe uma proximidade entre as falhas 2 e 3, depois entre a 4, 5 e 6, estando também as últimas 4 falhas relativamente próximas. A partir dos 600 dias, constata-se que não existe nenhuma ocorrência a nível de falhas, o que nos leva a deduzir que as falhas até então verificadas poderão estar relacionadas com instalações incorrectas dos equipamentos, pois o presente gerador até Março de 2009, registou poucas horas de funcionamento. Apesar de não se registar falhas no final do período de estudo, o conjunto de pontos ajusta-se à recta, prevendo pertencer aos PPH.



**Figura 4. 9 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº1, fragata C)**

Em relação aos restantes geradores focou-se apenas os pontos de maior interesse para o estudo.

Da análise realizada ao gerador nº2 é possível observar que o comportamento do sistema a nível das falhas ao longo do tempo sofreu algumas variações. Este sistema registou três falhas nos primeiros 58 dias de funcionamento, no entanto evidencia um decréscimo da taxa de falhas a partir dos 200 dias. Assim sendo, apesar do número de falhas registado, o sistema parece comportar-se de acordo com a primeira zona da “curva da banheira” conhecida também por período de “infância”, onde a taxa de falhas tem tendência a decrescer. Como aconteceu com o gerador nº1, no gerador nº2 também a partir dos 600 dias, não se registou mais falhas, o que poderá significar que o sistema atingiu a segunda zona da “curva da banheira”, contudo não é possível confirmar uma vez que o período de estudo não é suficientemente longo para tal. Ainda com alguma inexactidão é possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos, prenunciando assim que o sistema segue um Processo de Poisson Homogéneo (PPH).

O gerador nº3, registou apenas 2 falhas durante o período de estudo, sendo este o que apresenta menos falhas de toda a classe Vasco da Gama. No entanto apesar de ter sofrido somente duas ocorrências, registou o maior número de horas de trabalho. Assim sendo conclui-se que a equipa responsável pela manutenção e reparação dos

subsistemas realizou um trabalho positivo, uma vez que o sistema após as primeiras horas de trabalho não demonstrou o mesmo comportamento em relação aos restantes geradores da fragata. Contudo, aplicado o teste de Laplace segundo a expressão do capítulo 3, verifica-se estar perante um PPH.

Para finalizar, o gerador nº4 sofreu 5 falhas ao longo do período de estudo, das quais as 4 primeiras foram registadas com um intervalo de tempo semelhante. Aplicado o teste de Laplace, chegou-se a conclusão estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, pois  $Z_0 = 1,4$ . Devido à sua proximidade por valores positivos de  $Z_{\frac{\alpha}{2}}=1,64$ , constata-se que taxa de falhas prenuncia um ligeiro crescimento.

### **Análise das Falhas**

Na figura 4.10 apresenta-se o diagrama de Pareto, onde é possível visualizar graficamente quais as falhas mais repetitivas, tendo como objectivo proporcionar uma rápida interpretação das falhas ocorridas nos geradores da C.

Mais uma vez se verificou a ausência do preenchimento correcto dos dados de algumas falhas, o que resultou em 5 das quais a causa é desconhecida. O subsistema que provocou maior número de falhas foi a resistência de pré-aquecimento água doce, totalizando 4, seguido da bomba de água doce e do arrefecedor de óleo. Ao todo os 3 primeiros subsistemas foram responsáveis por 39% das falhas ocorridas nos 4 geradores da fragata.



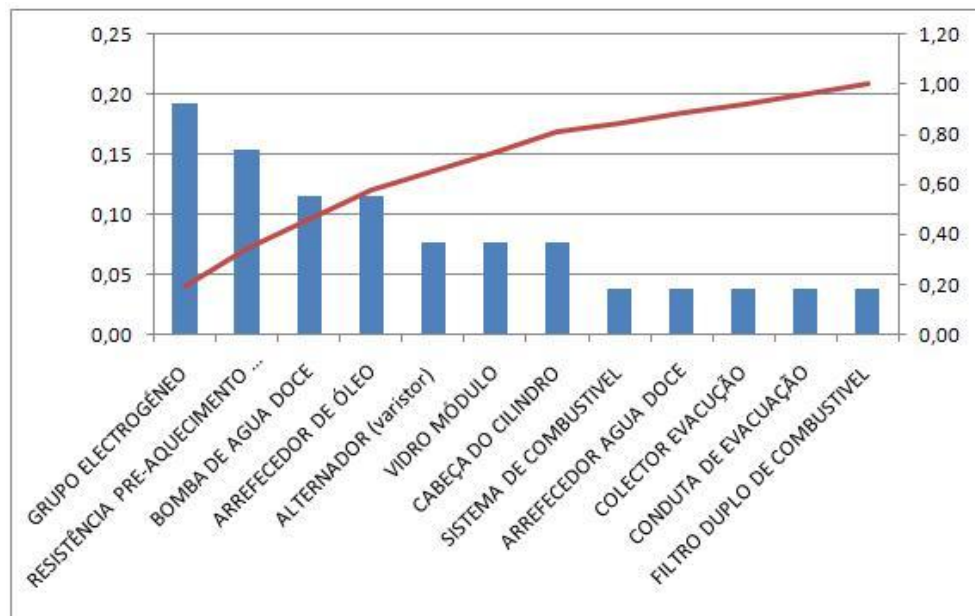
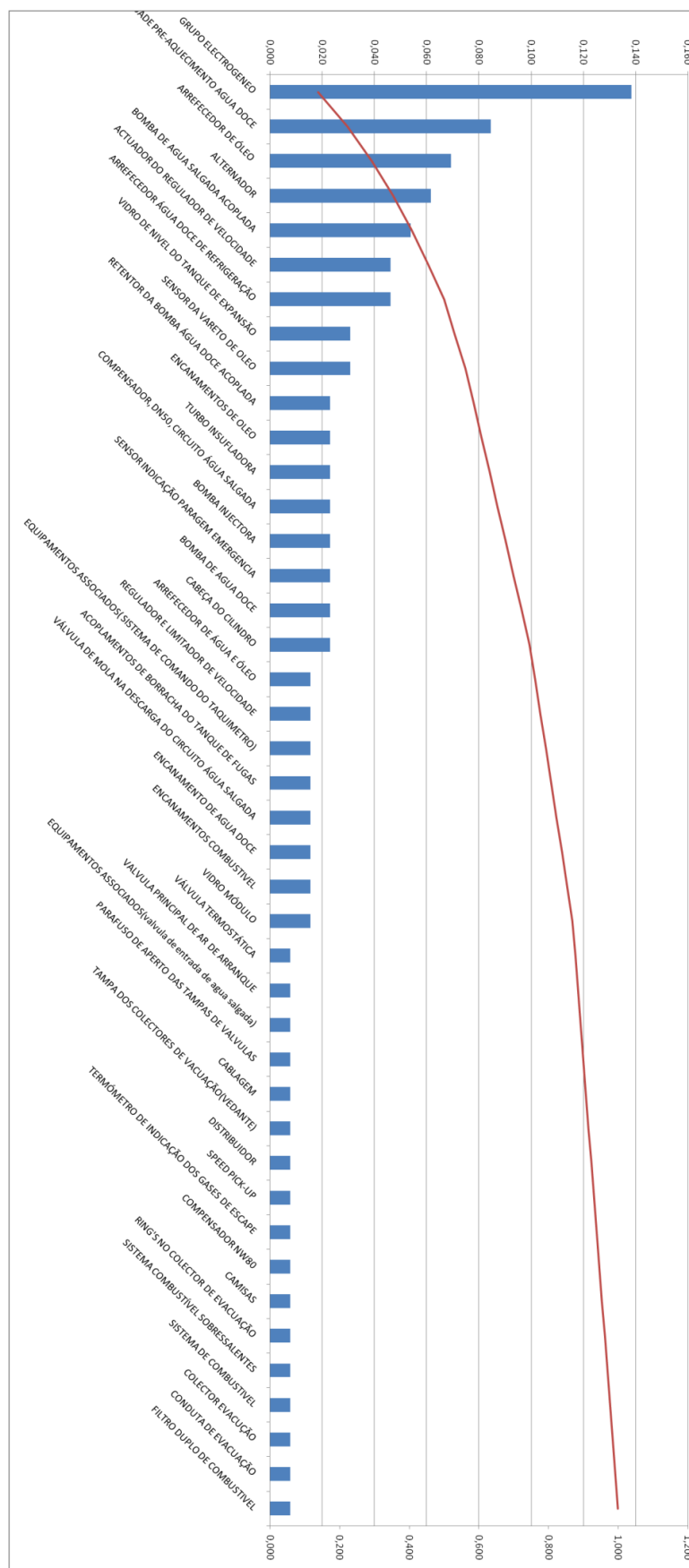


Figura 4. 10 - Diagrama de Pareto dos tipos de causa das falhas ocorridas na fragata C

#### 4.2.4 Análise das falhas Classe Vasco da Gama

De forma a poder avaliar, quais os equipamentos que mais prejudicaram a disponibilidade de todos os geradores da classe Vasco da Gama, ilustrou-se através do diagrama de Pareto as falhas dos 12 geradores. Assim é possível identificar quais foram esses equipamentos.

Da análise, realizada à figura 4.11, constata-se que em toda a classe Vasco da Gama foram afectados 41 tipos de diferentes subsistemas, dos quais a unidade de pré-aquecimento de água doce registou ao todo 11 falhas, sendo este o sistema que mais falhou ao longo do período de estudo, seguido do arrefecedor de óleo, o alternador, a bomba de água salgada, o actuador e regulador de velocidade e por fim o arrefecedor de água doce de refrigeração. O somatório das frequências relativas de cada um dos equipamentos mencionados anteriormente, totalizou 26,7% das falhas registadas na classe Vasco da Gama. Os restantes equipamentos, devido ao seu número de ocorrências ser significativamente menor em comparação com os primeiros, não há necessidade de proceder à sua interpretação individual.



**Figura 4. 11 - Diagrama de Pareto dos tipos de causa das falhas ocorridas na classe Vasco da Gama**

### **4.3 Análise dos MTBF's**

Os geradores da classe Vasco da Gama, apresentam uma taxa de falhas constante, comportando-se como um Processo de Poisson Homogéneo. Sendo assim a estimativa do tempo médio entre falhas (MTBF) pode ser obtida recorrendo às propriedades da distribuição Exponencial Negativa.

Para o cálculo do MTBF, de cada gerador retirou-se o número de horas de funcionamento através dos registos mensais do DSM 59 e para o respectivo período, dividiu-se pelo número de falhas ocorridas.

Como foi mencionado anteriormente, em situações normais de funcionamento da fragata, apenas é necessário accionar 2 dos 4 geradores para garantir o fornecimento da energia eléctrica a toda a fragata. Para que cada gerador funcione aproximadamente o mesmo número de horas que os restantes, as entidades responsáveis aplicam uma estratégia de funcionamento que consiste em accionar os geradores que acumulam menos horas de trabalho. No entanto nem sempre é possível, pois por vezes, indisponibilidades provocadas por manutenções de origem correctiva que devido ao tempo que é necessário despendar para reparar, resultam num menor número de horas total de funcionamento.

#### **4.3.1 Fragata A**

A figura 4.12, indica os MTBF dos 4 geradores da fragata A, para o mesmo período de estudo referido anteriormente, ou seja, intervalo de tempo compreendido entre Fevereiro de 2007 a Setembro de 2008.

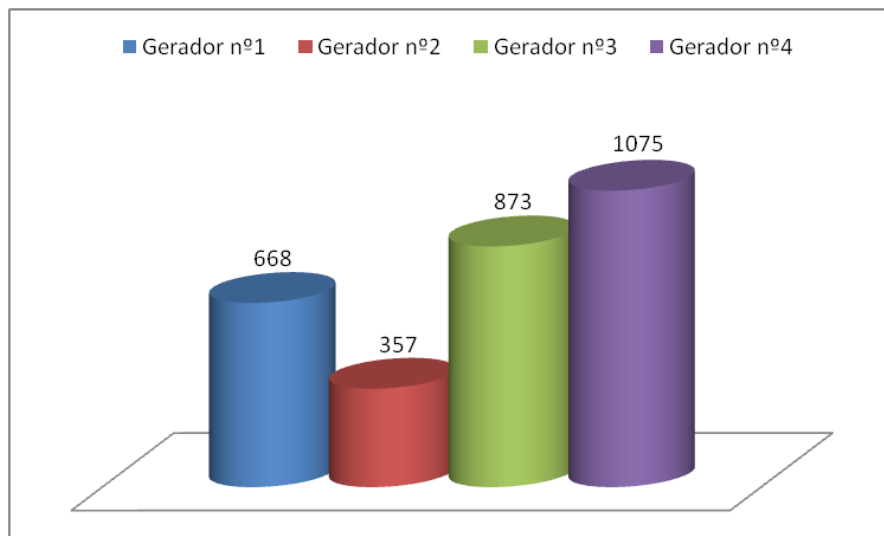
A seguinte tabela representa os valores dos MTBF's dos geradores da fragata A. A primeira coluna corresponde ao número do gerador a Diesel, a segunda coluna refere o respectivo número de horas de funcionamento para o período acima referido, na terceira coluna o número de falhas ocorridas em cada um dos geradores e por fim na última coluna os respectivos MTBF's.

**Tabela 4. 3 – MTBF's dos geradores da fragata A**

Grupo Diesel	Nº de horas acumuladas	Nº de falhas	MTBF(horas)
1	2671	4	668
2	2498	7	357
3	3491	4	873
4	3224	3	1075
Total	11884	18	

Como é possível verificar na figura 4.12 o gerador nº2 apresenta o MTBF mais baixo comparado com os restantes da fragata A. Por motivos desconhecidos, o gerador nº2, funcionou menos horas que os restantes e no entanto foi o que sofreu mais falhas. Assim sendo a divisão das horas totais de funcionamento pelo número de falhas, resulta como era de espera no menor MTBF. Os geradores nº1 e nº3, apresentam o mesmo número de falhas, contudo o gerador nº3 trabalhou mais horas, resultando num MTBF superior. Para finalizar o gerador nº 4, apesar de não ter sido o que realizou o menor número de horas, foi o que teve menos falhas, fazendo deste o gerador com o maior MTBF, ou seja, apresenta um tempo médio entre falhas superior aos restantes.

A figura abaixo apresenta graficamente os valores da tabela 4.3.



**Figura 4. 12 – MTBF's dos geradores da fragata A**

#### 4.3.2 Fragatas B e C

Como foi referido anteriormente, a fragata B apresentou o maior período de estudo, pois não entrou para “fabricos” na data pré-estabelecida. Este facto resultou num maior número de falhas, consequência de uma possível fadiga acumulada nos sistemas e componentes. Devido a esta ter excedido o planeamento de funcionamento inicial, fez com que em média os MTBF dos geradores desta fragata diminuíssem significativamente em relação à fragata A e C. Da interpretação gráfica realizada à figura do anexo B.26, constata-se que o gerador nº4, devido a ter sofrido 30 falhas e ainda ter registado um número de horas inferior em comparação com os restantes geradores da fragata B, apresenta o MTBF mais baixo na ordem das 178 horas/falha. Em relação ao gerador nº3 o facto de ter sofrido apenas 10 falhas, fez com que tivesse o MTBF mais elevado verificado na B.

Da análise realizada aos MTBF's dos geradores da C, constata-se que os valores máximos e mínimos para os geradores são de uma ordem de grandeza de diferença, ou seja, o gerador nº1 atingiu um MTBF na ordem dos 657 horas/falha, enquanto que o gerador nº3 atingiu 3836 horas/falha. O MTBF do gerador nº3, assume um valor muito

superior em relação aos restantes, devido ao facto deste ter estado em funcionamento mais horas e ainda apresentar o menor número de falhas de toda a classe, apenas 2, fazendo deste o gerador com o maior tempo entre falhas.

#### 4.3.3 MTBF Mínimo Garantido

Uma vez que o período de estudo para os geradores das diferentes fragatas não é igual, foi necessário calcular o MTBF mínimo garantido para cada uma delas. Realizado o respectivo cálculo procedeu-se então à análise e posterior comparação dos tempos médios entre falhas dos geradores.

Para o cálculo do MTBF (mínimo) recorreu-se à seguinte expressão:

$$MTBF_{mínimo} = \frac{2 \times T}{x_{\alpha, 2(n_f+1)}^2} \quad (4.1)$$

em que:

T = Período de estudo;  $x_{\alpha, 2(n_f+1)}^2$  = valor percentual da distribuição  $X^2$

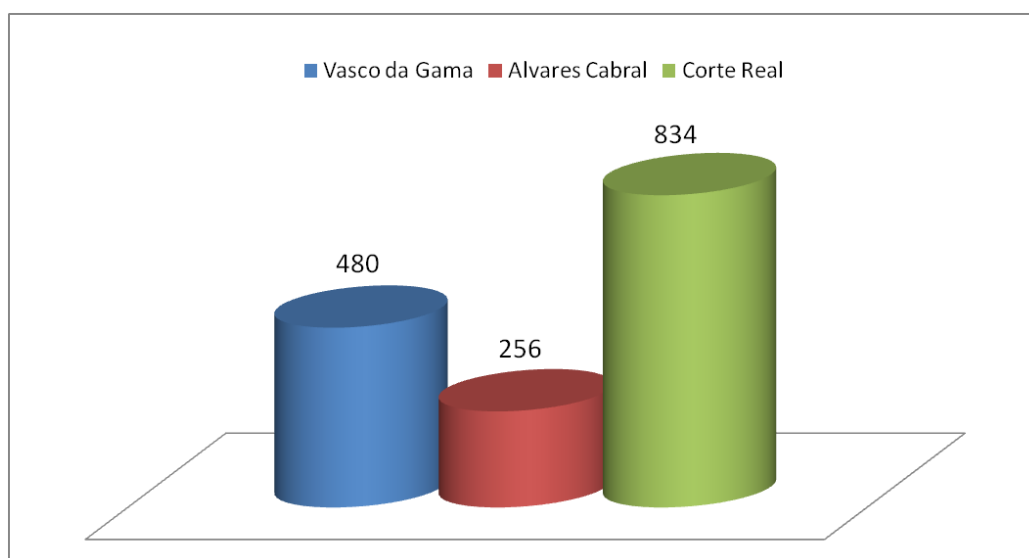
Na seguinte tabela apresenta-se os MTBF's (mínimos) para cada um dos geradores da classe Vasco da Gama. Na primeira coluna estão mencionadas as fragatas da classe e na segunda, terceira, quarta e quinta coluna refere respectivamente o total de falhas registado nos geradores das respectivas fragatas, o período de estudo de cada uma das fragatas, o respectivo valor retirado da tabela do  $X^2$  e o MTBF (mínimo) calculado através da expressão (4.1).

**Tabela 4. 4 – MTBF mínimo garantido em 90% ( $\alpha=10\%$ ), para os geradores da Classe Vasco da Gama**

Fragata	nº falhas	Periodo (T)	$x^2$	MTBF(mínimo)
A	18	11884	49,513	480,04
B	86	25029	198,294	252,44
C	26	28221	67,673	834,04

Para uma melhor interpretação representou-se graficamente os valores da tabela anterior na figura seguinte.

O resultado obtido pelo cálculo do MTBF mínimo, foi dentro do intervalo esperado, pois as análises individuais realizadas anteriormente aos geradores previam o cenário representado na figura 4.13. Assim sendo a fragata B devido ao grande número de falhas registado nos respectivos geradores, apresenta o MTBF mais baixo da classe, seguida da A. Por último os geradores da C, revelaram ter o maior MTBF mínimo (834 horas/falha) de toda a classe, pois registaram o menor número de falhas em função do tempo.

**Figura 4. 13 – MTBF mínimo garantido em 90% ( $\alpha=10\%$ ), para os geradores da classe Vasco da Gama**

## 4.4 Rotáveis

Devido à complexidade de alguns sistemas, a Marinha seleccionou alguns equipamentos da fragata como sendo rotáveis. Essa selecção foi realizada mediante o grau de exigência necessária por parte das entidades para reparar o sistema e também as ferramentas e oficina a disponibilizar para efectuar a reparação. Assim sendo os rotáveis são sistemas, que para serem reparados necessitam de pessoal qualificado e oficinas apropriadas com o objectivo de repor os subsistemas novamente em funcionamento. Sempre que ocorre uma falha num rotável este é substituído por outro idêntico. Os rotáveis avariados são enviados normalmente para o Arsenal para então se proceder à sua reparação. Os rotáveis tratados nesta tese, são subsistemas dos geradores ou então sistemas auxiliares dos mesmos.

Com o objectivo de modelar um plano de substituição preventivo para os rotáveis, utilizou-se o modelo de Kaplan-Meier, aplicou-se um filtro na base de dados DSM 59, com o objectivo de descobrir quais são os rotáveis e as datas nas quais ocorreram as respectivas falhas. Alguns dos rotáveis, visto que não continham um número de falhas necessárias, não entraram para o estudo, pois os resultados poderiam induzir em erro. Assim sendo, seleccionaram-se apenas os que sofreram maior número de falhas, referindo-se então quatro subsistemas, bomba de água doce, pré-aquecimento de água doce, regulador e limitador de velocidade e bomba de água salgada.

Na tabela seguinte estão apresentados os valores utilizados na construção gráfica da função Fiabilidade. Na primeira coluna apresenta-se os tempos de falhas, na segunda coluna o número de falhas ocorridas nesse mesmo instante, na quarta e quinta coluna representam as falhas não censuradas e censuradas. Por fim nas últimas quatro colunas é apresentado a variância calculada a partir da expressão (3.12), seguida do estimador de Kaplan-Meier (3.11) e respectivos limites inferior e superior (3.13). As colunas que não foram mencionadas, serviram apenas para cálculos intermédios.

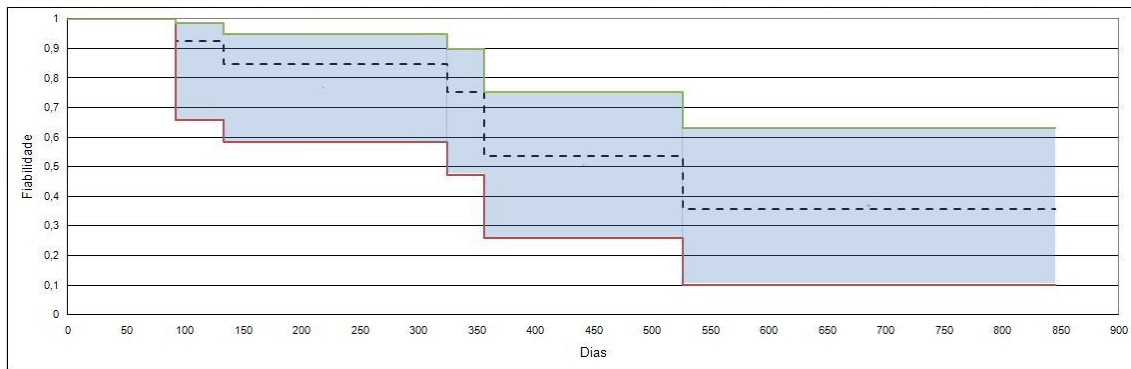


**Tabela 4. 5 – Modelo de kaplan-Meier aplicado à Bomba de Água Doce**

tempo	sistemas	n	d	c	Ri	Vi	R(t)	R2(inferior)	R1(superior)
0	1	13	0				1	1	1
93	1	13	1		0,92	1,00	0,92	0,66	0,98
134	1	12	1		0,92	0,50	0,85	0,58	0,95
222	2	11	0	2	1,00	0,50	0,85	0,58	0,95
325	1	9	1		0,89	0,34	0,75	0,47	0,90
327	1	8	0	1	1,00	0,34	0,75	0,47	0,90
357	2	7	2		0,71	0,22	0,54	0,26	0,75
395	1	5	0	1	1,00	0,22	0,54	0,26	0,75
398	1	4	0	1	1,00	0,22	0,54	0,26	0,75
527	1	3	1		0,67	0,24	0,36	0,10	0,63
761	1	2	0	1	1,00	0,24	0,36	0,10	0,63

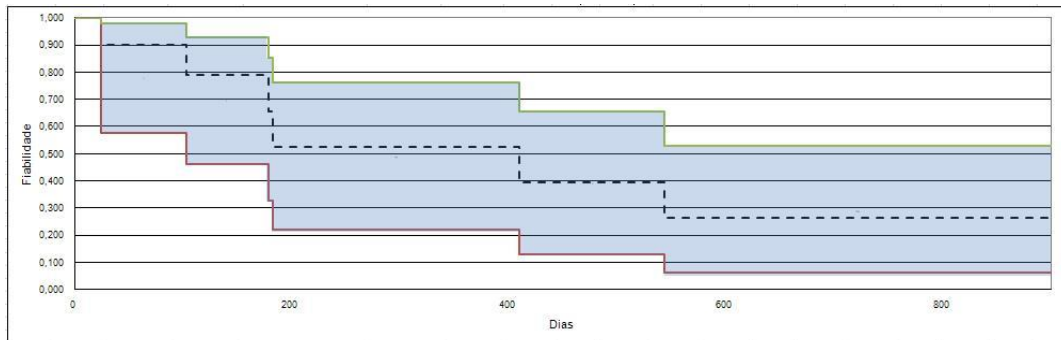
Da interpretação da figura 4.14 que representa o Modelo de Kaplan-Meier aplicado à bomba de água doce, constata-se que para um intervalo de confiança de 90% a bomba de água doce, terá de ser substituída após 134 dias de funcionamento para garantir uma Fiabilidade estimada de 85% [0,58;0,95].

Na figura abaixo, encontram-se representados graficamente os valores da função fiabilidade da tabela 4.5

**Figura 4. 14 - Modelo de Kaplan-Meier para Bomba de água doce**

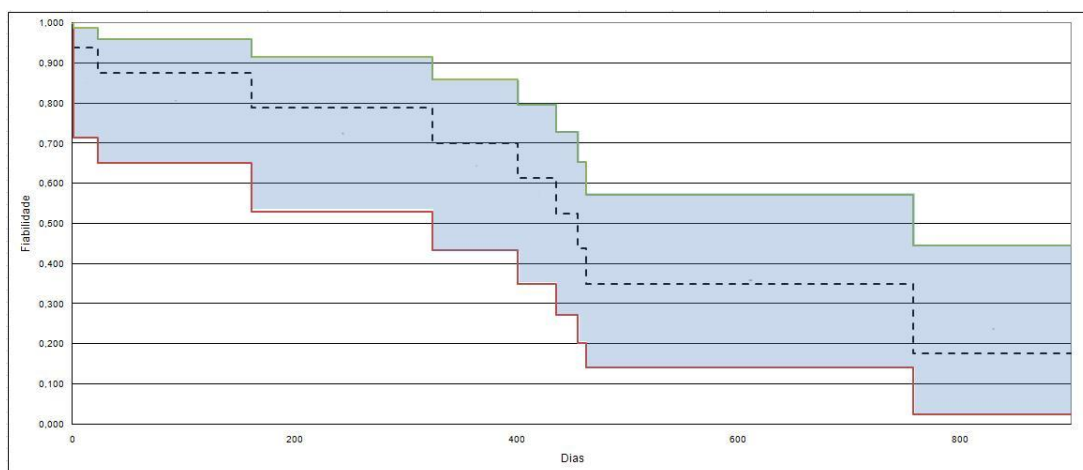
A figura 4.15, representa o modelo de Kaplan-Meier para o subsistema responsável pelo pré-aquecimento de água doce. Durante o período de estudo este sistema foi responsável pelo registo de 10 falhas. Para que este apresente um intervalo de confiança de 90% terá

de ser substituído após 103 dias de funcionamento, garantindo uma Fiabilidade estimada de 79% [0,46;0,93].



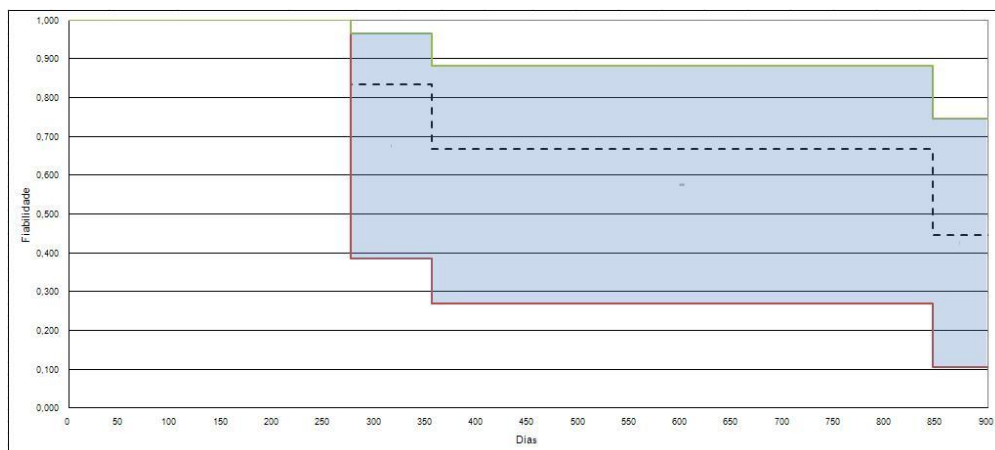
**Figura 4. 15 - Modelo de Kaplan-Meier do subsistema de pré-aquecimento de água doce**

O estudo do modelo de Kaplan-Meier representado na figura 4.16 para o regulador e limitador de velocidade, mostra que para um intervalo de confiança de 90% o sistema tem de ser substituído após 162 dias de funcionamento para garantir uma Fiabilidade estimada de 79% [0,53;0,91]. Do grupo dos rotáveis seleccionados, este foi o equipamento que registou o maior número de falhas, contabilizando um total de 16 ocorrências.



**Figura 4. 16 - Modelo de Kaplan-Meier para o Regulador e Limitador de Velocidade**

A figura 4.17 representa o estudo segundo o modelo de Kaplan-Meier da bomba de água salgada. Este subsistema de entre os rotáveis seleccionados é o que apresenta o menor número de falhas, tendo registado apenas 6 ocorrências. Assim para apresentar um intervalo de confiança de 90%, o sistema tem de ser substituído após 276 dias de funcionamento para garantir uma Fiabilidade estimada de 83% [0,39;0,97]. Da análise da figura do sistema em causa, verifica-se que o limite inferior do modelo decresce significativamente, ou seja, até os 276 dias de funcionamento o limite inferior de fiabilidade é 100%, no entanto quando se ultrapassa os tais 276 dias de funcionamento, o limite inferior decresce para os 37% de fiabilidade. Uma possível solução para este tipo de comportamento poderá estar relacionada com o baixo número de ocorrências registadas neste subsistema.



**Figura 4. 17 - Modelo de Kaplan-Meier para a Bomba de água salgada**

## **CAPÍTULO 5**

# **CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **5.1. Conclusões**

De uma perspectiva geral espera-se que os resultados atingidos com o decorrer deste trabalho tenham contribuído para uma melhoria do funcionamento do sistema de recolha de dados, assim como os subsistemas pertencentes ao grupo dos geradores que mais falhas registaram.

A metodologia desenvolvida nesta tese, tomou como base os principais conceitos no âmbito da Gestão da Manutenção, originando críticas e conclusões acerca das várias etapas da dissertação.

## **Software Sinkal**

Numa fase inicial, durante a recolha das falhas, percebeu-se que a base de dados iria ser um obstáculo a ultrapassar, na medida em que muitas das ocorrências registadas não se encontravam completamente preenchidas e em muitos dos casos, apresentavam incorrecções. Assim sendo foi necessário dedicar tempo e persistência, com o objectivo de retirar os dados necessários de forma correcta de modo a obter um estudo posterior fidedigno. Um dos motivos que nos fez suspeitar, da veracidade da base de dados, foi o facto de se verificar a existência de um comportamento periódico em alguns dos casos. Através de pesquisas e reuniões com a equipa responsável por esta área na Marinha, concluiu-se que este comportamento, na grande maioria dos casos foi provocado por incorrectos preenchimentos. Um dos erros que mais se manifestaram foi o facto de durante o preenchimento do campo referente ao tipo de manutenção, onde se devia encontrar manutenção preventiva encontra-se manutenção correctiva. Um outro erro encontrado na base de dados, mais especificamente no DSM 59, foi o incorrecto preenchimento da coluna responsável pelo registo do número de horas acumuladas de funcionamento dos geradores a diesel, ou seja, o mês seguinte tem que totalizar um número de horas acumulado igual ou superior ao mês anterior, mas em alguns casos verificou-se uma diminuição. A solução para impedir este tipo de erro, poderia passar por configurar o software (Sinkal) de forma a evitar este tipo de situações.

O estudo desta investigação teve iniciou-se em Fevereiro de 2007, pois os registos que se encontravam na base de dados inferiores a esta data, revelaram ser insuficientes. Contudo teria sido possível estender o período de estudo, se fosse dedicado mais tempo na procura dos ingressos referentes às ocorrências, localizadas em lugares de acesso limitado. Caso houvesse a possibilidade de iniciar o estudo ao mesmo tempo que as fragatas entram em operacionalidade, teria sido possível retirar conclusões acerca da evolução inicial dos geradores a Diesel.

O facto da Marinha ter realizado modificações no sentido de informatizar a base de dados, fez com que a consulta dos registos se processasse de forma mais rápida e eficaz.

No entanto existe correcções que necessitam de ser realizadas de modo a proteger a base de dados de preenchimentos incorrectos.

Segundo César Gonçalves (2005) a informação na base de dados com registos informáticos permitirá, com bastante versatilidade, a análise e a avaliação contínua da tendência da taxa de falhas e o cálculo de índices de Fiabilidade. Assim sendo a Marinha encontra-se no rumo certo, pois ao recorrer a uma base de dados informatizada permitiu um acesso mais fácil possibilitando também o diagnóstico de falhas futuras.

### **Subsistemas Geradores a Diesel**

No estudo dos geradores a Diesel através da aplicação do teste de Laplace, foi possível concluir que todos os 12 geradores se comportam segundo um Processo de Poisson Homogéneo com uma taxa de falhas constante. No entanto o número diminuto de falhas registadas em alguns deles, levam a suspeitar acerca do funcionamento do mesmo. Como exemplo tem-se o gerador nº4 da fragata A totalizou apenas 3 falhas ou então o gerador nº3 da fragata B que só obteve 2 falhas.

Ainda através do teste de Laplace é possível identificar a tendência da taxa de falhas, pois consoante o valor obtido por  $Z_0$ , tem-se uma indicação se esta apresenta tendências crescentes ou decrescentes. Assim sendo o gerador nº4 da fragata C embora pertença aos PPH apresenta o maior valor de  $Z_0$ , ou seja, a taxa de falhas tem uma ligeira tendência para crescer. Desta feita, o tipo de manutenção utilizada ou a qualidade desta, têm de ser analisadas, com o objectivo de contrariar a tendência. Contudo o gerador nº4 da fragata A, apresenta o valor mais baixo de  $Z_0$ , e uma vez que este valor é negativo significa que o tempo entre falhas tende a aumentar, o que nos leva a querer, que a equipa de manutenção tem realizado um trabalho eficiente neste caso.

O diagrama de Pareto revelou ser uma ferramenta útil na identificação e comparação dos subsistemas/componentes que mais falhas registaram.

O estudo do MTBF para cada uma das fragatas mostrou ser interessante, na medida que possibilitou o cruzamento de valores de bases de dados diferentes (DSM58;DSM59), ou

seja, relacionou-se horas de funcionamento com as respectivas falhas registadas para o mesmo espaço de tempo. A fragata A apesar de ter sido o navio da classe que registou menos falhas, obteve um MTBF de 480 horas/falha, situando-se este num nível médio em comparação com os MTBF's das restantes fragatas. Das três fragatas, a A, obteve o menor período de estudo, pois em Setembro de 2008, esta entrou para fabricos terminando assim o período de estudo. Por motivos de falta de dados anteriores a Fevereiro de 2007, não foi possível fazer a análise da evolução da ocorrência das falhas desde a última grande intervenção (fabricos), que terminou segundo o calendário, em Julho de 2005. Contudo através do teste de Laplace realizado durante o período em estudo, verificou-se que a taxa de falhas é constante, deduzindo-se assim que os planos de manutenção executados até então têm demonstrado resultados positivos.

A B, revelou ser a fragata mais problemática, pois o seu MTBF atingiu apenas 253 horas/falha, sendo o mais baixo da classe. Ainda é de referir que no total dos 4 geradores da fragata foram registados 87 falhas, para o respectivo período de estudo. Porém, a fragata B sofreu um desgaste maior em relação às restantes, pois não entrou para fabricos por motivos financeiros na data pré-estabelecida. Ainda antes de finalizar o período de operacionalidade esta fragata foi destacada navio chefe para desempenhar missões da Nato. Assim é possível que os baixos valores dos MTBF's dos geradores da B, estejam relacionados com os motivos anteriormente referidos. O diagrama de Pareto revelou ser uma ferramenta apropriada para identificar quais as falhas que mais contribuíram para a redução da fiabilidade. Como é possível visualizar na figura 4.7, a bomba de água salgada foi o subsistema que mais falhas registou, seguido do actuador de velocidade.

Por fim os geradores da C, revelaram ter MTBF's satisfatório em comparação com as restantes fragatas, na ordem das 834 horas/falha. Apesar dos geradores da fragata terem realizado mais horas de funcionamento durante o período de estudo, a C registou apenas 26 falhas, contudo na data em que este estudo se iniciou, esta fragata encontrava-se ainda em fabricos, ou seja, estava a ser intervencionada por uma manutenção geral (fabricos). Quando esta entrou em operacionalidade, os subsistemas dos geradores não apresentavam fadiga acumulada, resultando assim num menor número de falhas. É de

destacar o gerador nº3 da fragata C, que por motivos desconhecidos trabalhou mais horas em comparação com os restantes, no entanto sofreu apenas 2 falhas, apresentando o maior MTBF. Da análise do diagrama de Pareto, conclui-se que a resistência de pré-aquecimento da água doce, foi o subsistema que mais ocorrências registou, seguido da bomba de água doce e o arrefecedor de óleo. No entanto não foi possível concluir as razões que originaram as falhas destes subsistemas.

O estudo dos rotáveis, demonstrou ser um estudo produtivo na medida em que houve interacção com o pessoal da manutenção para perceber como é realizada a troca e reparação destes subsistemas. Deste modo, através das reuniões realizadas com as identidades responsáveis na Marinha, conclui-se que um dos factores responsáveis pelo atraso da entrega dos rotáveis, está relacionado com o tempo de espera dos componentes, ou seja, estes não podem ser reparados porque não existe material em stock para substituição. Assim sendo os rotáveis avariados, aguardam tempo indeterminado nas oficinas até serem reparados, resultando por vezes numa escassez dos mesmos. Outro problema referido por um dos elementos da equipa de manutenção da C, está relacionado com a qualidade dos componentes utilizados na reparação, ou seja, alguns dos componentes não têm a qualidade desejada, influenciando negativamente no desempenho dos rotáveis, o que resulta em substituições antecipadas.

Com o objectivo de modular um plano de manutenção preventiva para substituição dos rotáveis, utilizou-se a distribuição de Weibull, contudo os resultados não foram os esperados, obtendo-se períodos de substituição não aceitáveis. A solução encontrada pelo professor José Mendonça Dias, foi a utilização do modelo de Kaplan-Meier, que revelou ser a ferramenta indicada, uma vez que foi possível obter a relação fiabilidade/tempo. Os valores alcançados através do modelo, foram discutidos com o pessoal de manutenção de uma das fragatas, concluindo-se que os resultados eram plausíveis, principalmente o estudo de Kaplan-Meier realizado para o limitador e regulador de velocidade.



## 5.2 Proposta Futuras

Atendendo ao trabalho desenvolvido, concorda-se que alguns dos temas abordados, poderão surgir como propostas de trabalhos futuros, continuando assim a aprofundar ou mesmo seguir outros rumos de uma maior abrangência. Assim sendo refere-se as seguintes propostas:

- Desenvolvimento de um software, capaz de albergar todo um conjunto de dados essenciais À realização de trabalhos na área da manutenção e congéneres, estando este apto para proteger o sistema contra eventuais erros, mencionados anteriormente no Sinkal.

- Estudo do melhor equilíbrio entre o tipo de manutenção e os respectivos gastos, com o objectivo de encontrar o equilíbrio entre ambos, através de uma reformulação dos planos de manutenção existentes ou se necessário introduzir novos, pois devido à situação financeira que a Marinha se encontra actualmente, pensa-se que seria uma mais-valia.

- Investigação na área da engenharia Mecânica, com o propósito de perceber a causa que origina as falhas dos subsistemas e ser for necessário apresentar uma proposta de alteração de projecto, uma vez que os rotáveis são subsistemas com alguma complexidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Mishari, S. T., & Suliman, S. M. (2008). Modelling preventive maintenance for auxiliary components. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* .

Ascher, H., & Feingold, H. (1984). *Repairable Systems Reliability – Modeling, Inference, Misconceptions and Their Causes*. Lecture Notes in Statistics, Dekker, New York.

Assis, R. (1997). *Manutenção Centrada na Fiabilidade – Economia das Decisões*. LIDEL– Edições Técnicas, Portugal.

Cabral, J. S. (1998). *Organização e Gestão da Manutenção*. (2ª Edição), LIDEL – Edições Técnicas, Portugal.

Canuto, R. M. (2002). *Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM II). Aplicação numa Indústria de Celulose em Portugal*. Tese de Mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Ciências dos Materiais/Secção de Materiais Electroactivos.

Cholasuke, C., Bhardwa, R., & Antony, J. (2004). The Status of Maintenance Management in UK Manufacturing Organisations: result from a pilot survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 10, No. 1 , pp. 5-15.

Dias, J. M., (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. Tese de doutoramento. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial.

Dias, J. M., Pereira, Z. L., & Leitão, A. L. (2005). Fiabilidade e Gestão da Manutenção de Sistemas Reparáveis. *em Análise e Gestão de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Volume II, C* , Guedes Soares, A. P. Teixeira e P. Antão (Eds), Edições Salamandra, Lisboa, 2005 (ISBN: 972-689-230-9), pp. 591-602.

Ferrão, F. M., & Dias, J. M. (2009). Gestão da Manutenção em Viaturas de Transporte Urbano de Passageiros. *10º Congresso Nacional de Manutenção*. Figueira da Foz.

- Gonçalves, C. D. (2005). *Gestão da Manutenção de um Sistema de Cozedura na Indústria Cimenteira*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal.
- Grant, I., Clyde, F. C., & Richard, Y. M. (1996). *Handbook of Reliability Engineering and Management*. McGraw-Hill.
- Lampreia, S. P. (2005). *Fiabilidade e Manutibilidade de Sistemas Marítimos de Pequena e Média Dimensão*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal.
- Lee, T. E., & Wang, J. W. (2003). *Statistical Methods for Survival Data Analysis* (3<sup>a</sup> ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Lewis, E. E. (1987). *Introduction to Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, New York.
- Madu, C. N. (2005). Strategic Value of Reliability and Maintainability Management. *International Journal of Quality & Reliability Management* .
- Marinha. (1984). Direcção do Serviço de Manutenção. *ILMAT 512 - Manual do Sistema de Recolha e Tratamento de Dados* , Lisboa.
- Marinha. (1997). Estado Maior Armada . *ILA 5(A) - Instruções para Organização da Manutenção das Unidades Navais e Outros Meios de Acção Naval* .
- Marques. (2009). *Manutenção Industrial e Custo de do Ciclo de Vida – Extracção Oleaginosas*. Tese de Mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial.
- Marques, S. G., Baptista, L. L., & Dias, J. M. (2009). O Custo do Ciclo de Vida numa Perspectiva de Manutenção Industrial. *10º Congresso Nacional de Manutenção*. Figueira da Foz.
- Márquez, A. C. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , 167-178.
- O'Connor, P. D. (2002). *Practical Reliability Engineering* (3<sup>a</sup> ed.). Baffins Lane, Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, England.

Pawan, G. (2007). Analysis of reliability and availability of serial processes of plastic-pipe manufacturing plant. *International Journal of Quality & Reliability Management* , 404-419.

Pintelon, L. (1992). Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, Vol. 58 , pp.301-317.

Pinto, C. V. (1999). *Organização e Gestão da Manutenção*. Monitor, 1ª ed.

Soares, C. G., Teixeira, A. P., & Antão, P. (2007). *Riscos Públicos e Industriais*. SALAMANDRA, Lda., Campo Pequeno, Lisboa.

<http://www.marinha.pt/PT/amarinha/historia/historiadamarinha/Pages/CriacaodaMarinhaPortuguesa.aspx>, 2010

<http://forumarmada.no.sapo.pt/docs/FA-Vgama.html>, 2010

<http://militaryzone.home.sapo.pt/VG-file.htm>, 2010

[http://www.aviogroup.com/en/catalog/marine/architettura di propulsione](http://www.aviogroup.com/en/catalog/marine/architettura_di_propulsione), 2010

<http://www.mtu-online.com/mtu/products/diesel-engines-overview/>, 2010

# **ANEXOS**

## **Anexo A: Gerador a Diesel**

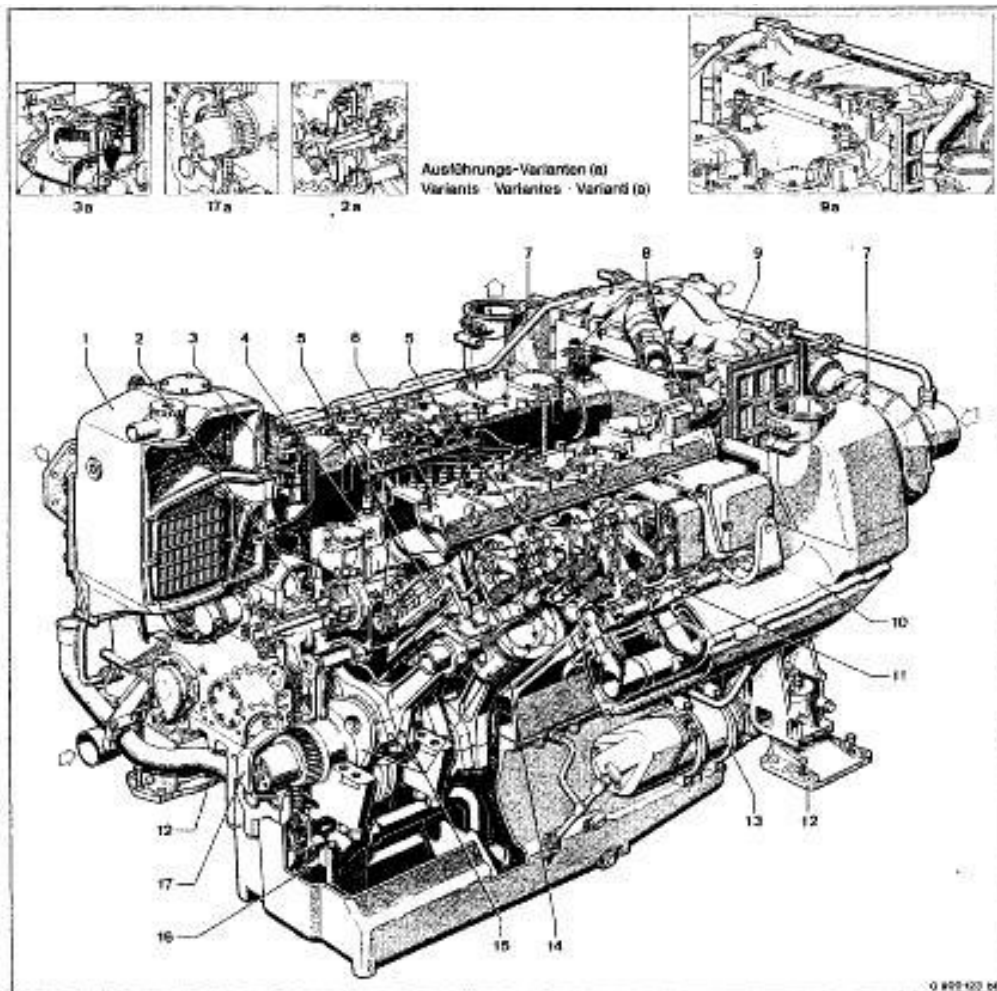
## **Anexo B: Tabelas e Gráficos utilizados na análise dos Sistemas/Subsistemas**

## **Anexo C: Tabelas Estatísticas**

## **Anexo D: Boletins DSM 58/DSM 59**

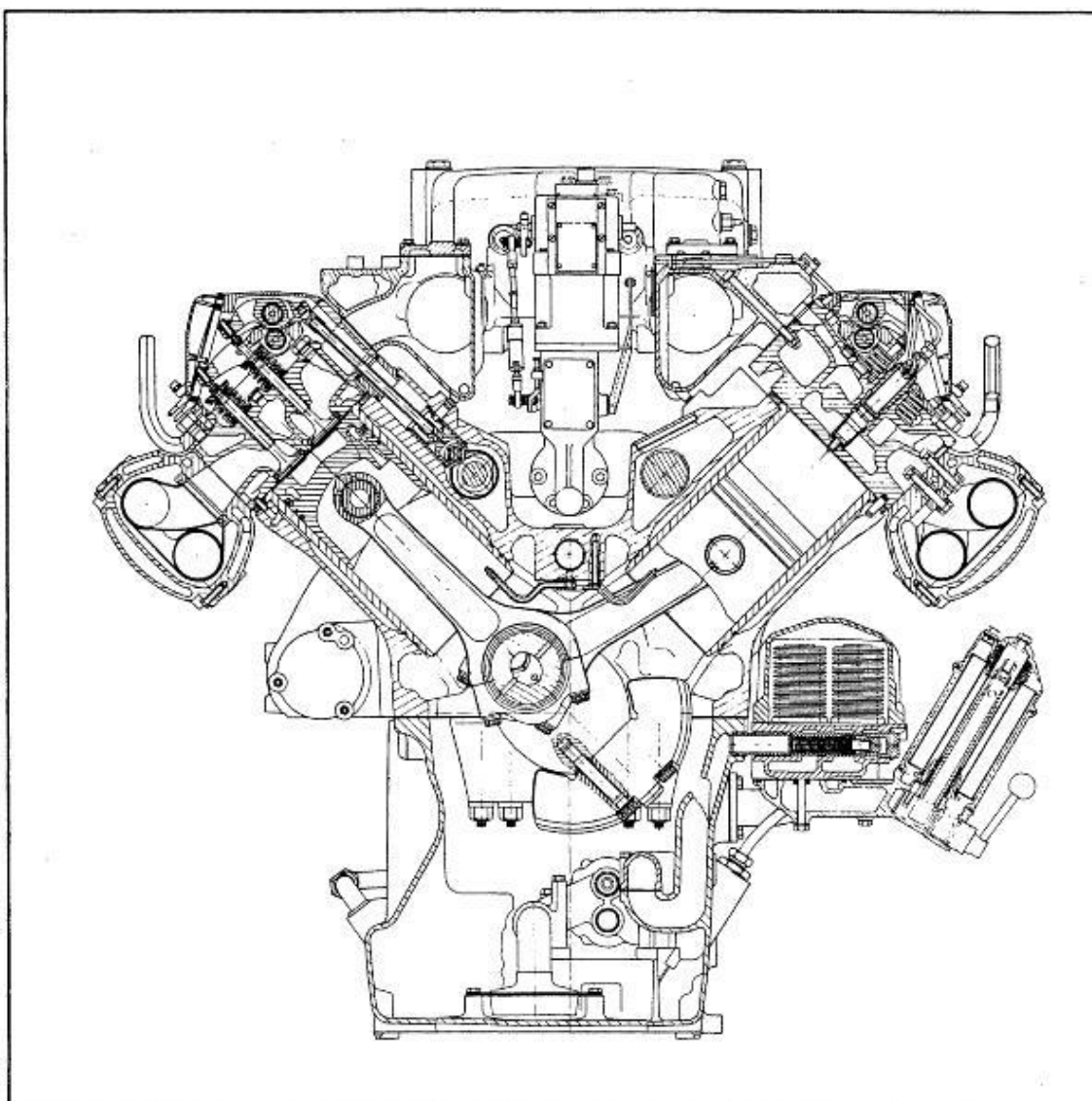
## Anexo A: Gerador a Diesel

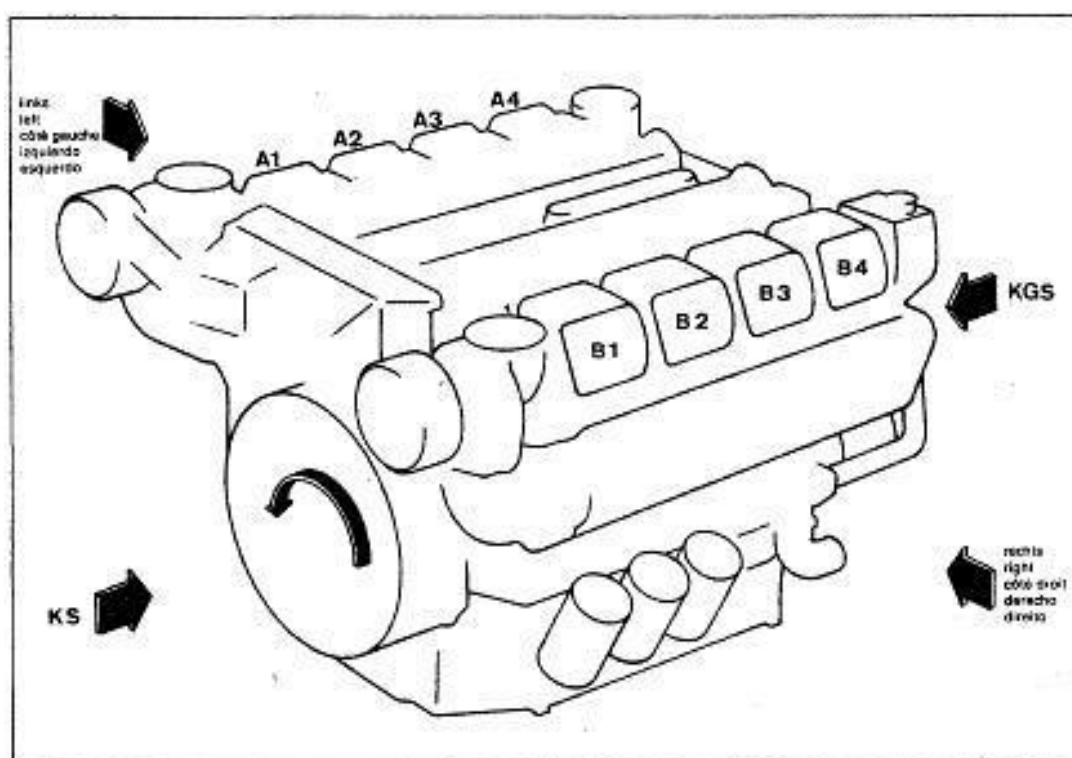
### Anexo A.1 - Gerador a Diesel 8 V 396 TB/TC



- |                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 Coolant cooler                 | 9a Intercooler (internal)     |
| 2 Direct injection pump drive    | 10 Exhaust manifold           |
| 2a Fuel injection timer          | 11 Cylinder head              |
| 3 Coolant thermostat             | 12 Engine mount               |
| 3a Coolant thermostat (separate) | 13 Starter                    |
| 4 Injection pump                 | 14 Cylinder liner             |
| 5 Valve gear                     | 15 Running gear               |
| 6 Charge air/coolant manifold    | 16 Engine oil pump            |
| 7 Exhaust turbocharger           | 17 End cover, timing end      |
| 8 Emergency air shut-off flaps   | 17a Auxiliary PTO, timing end |
| 9 Intercooler (external)         |                               |

**Anexo A. 2 – Secção Transversal**



**Anexo A. 3 - Designação Lateral do Motor e Cilindros**

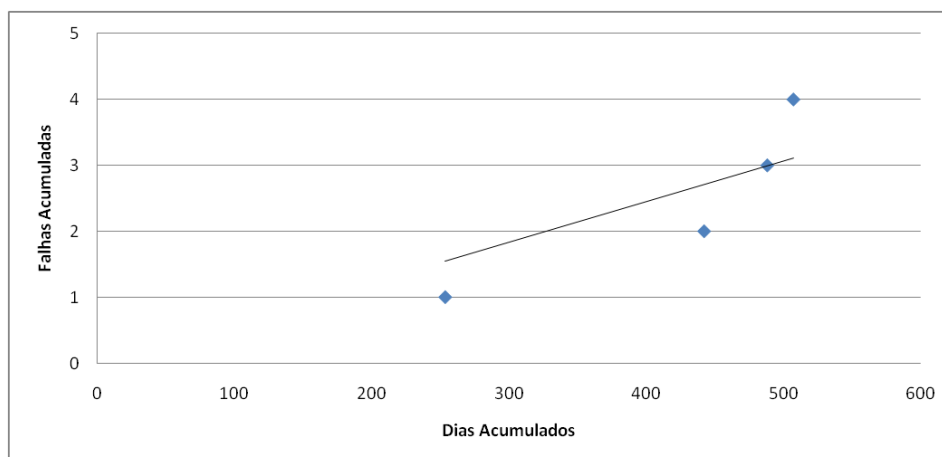


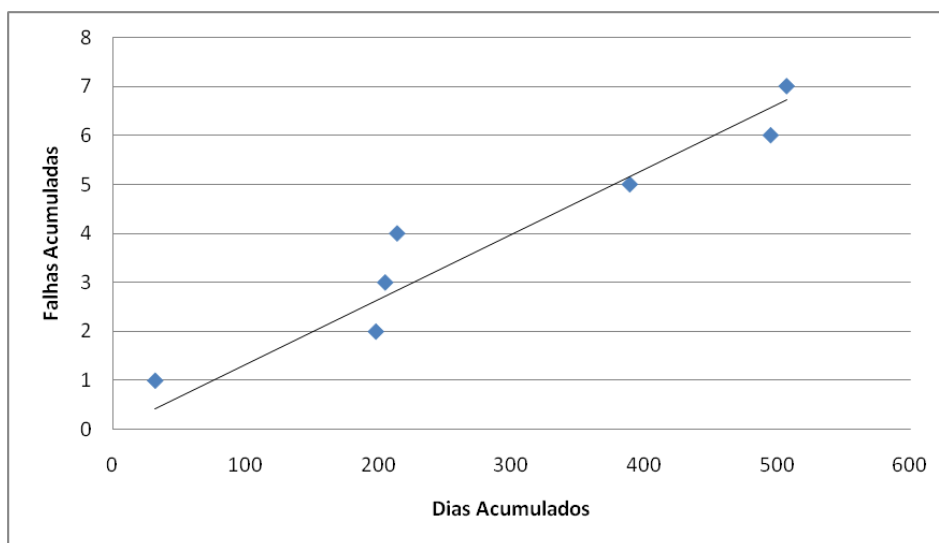
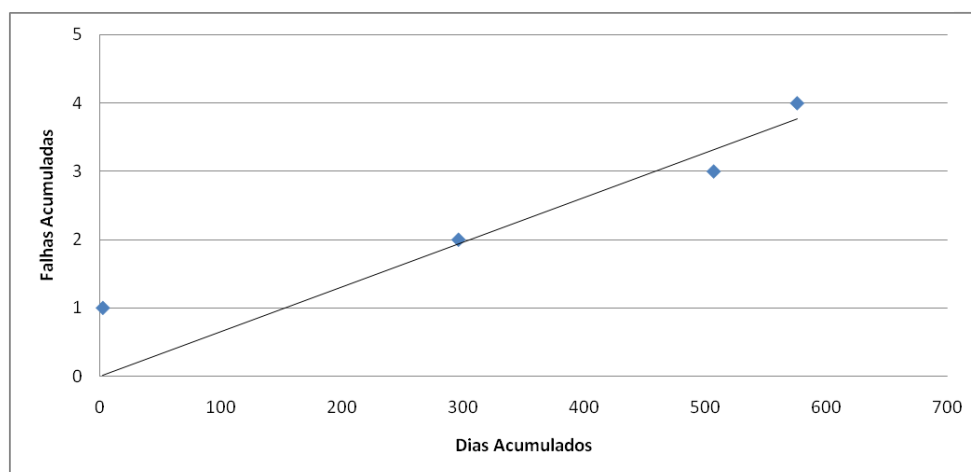
## Anexo B: Tabelas e Gráficos utilizados na análise dos Sistemas/Subsistemas

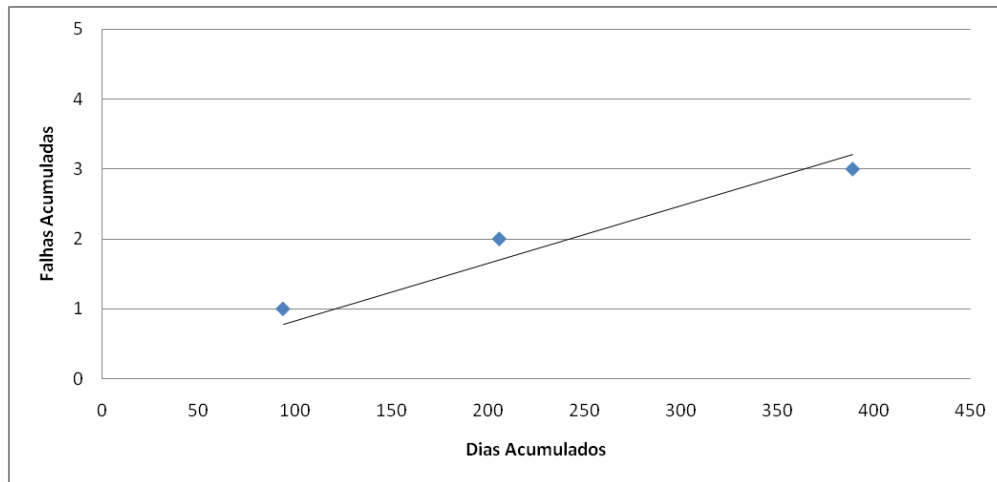
### Anexo B. 1 – Registo das falhas ocorridas nos geradores da fragata A

grupo1			grupo2			grupo3			grupo4		
data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria
10-09-2007	254	1	01-02-2007	32	1	02-01-2007	2	1	04-04-2007	94	1
17-03-2008	442	2	17-07-2007	198	2	23-10-2007	296	2	25-07-2007	206	2
02-05-2008	488	3	24-07-2007	205	3	21-05-2008	507	3	24-01-2008	389	3
21-05-2008	507	4	02-08-2007	214	4	29-07-2008	576	4			
			24-01-2008	389	5						
			09-05-2008	495	6						
			21-05-2008	507	7						
Total:	1691	4	Total:	2040	7	Total:	1381	4	Total:	689	3

### Anexo B. 2 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº1, fragata A)



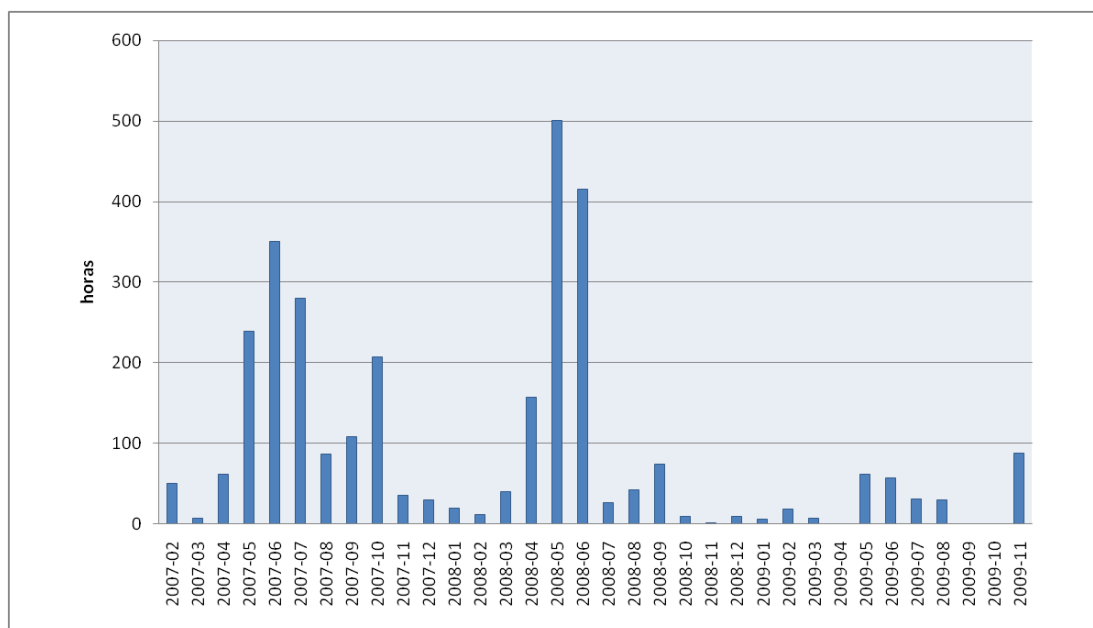
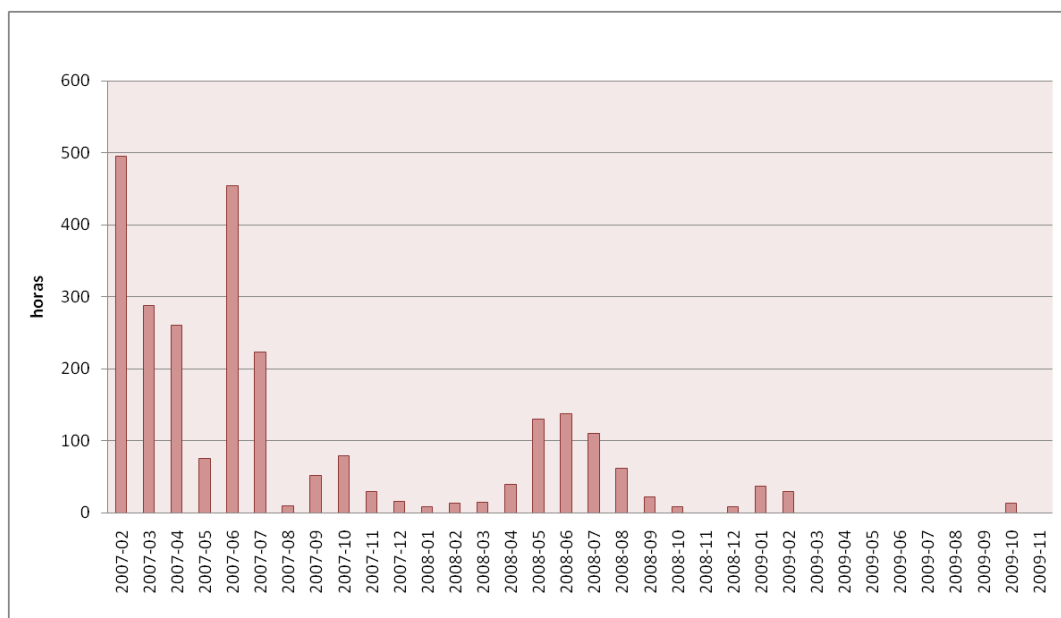
**Anexo B. 3 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº2, fragata A)****Anexo B. 4 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº3, fragata Vasco da Gama)**

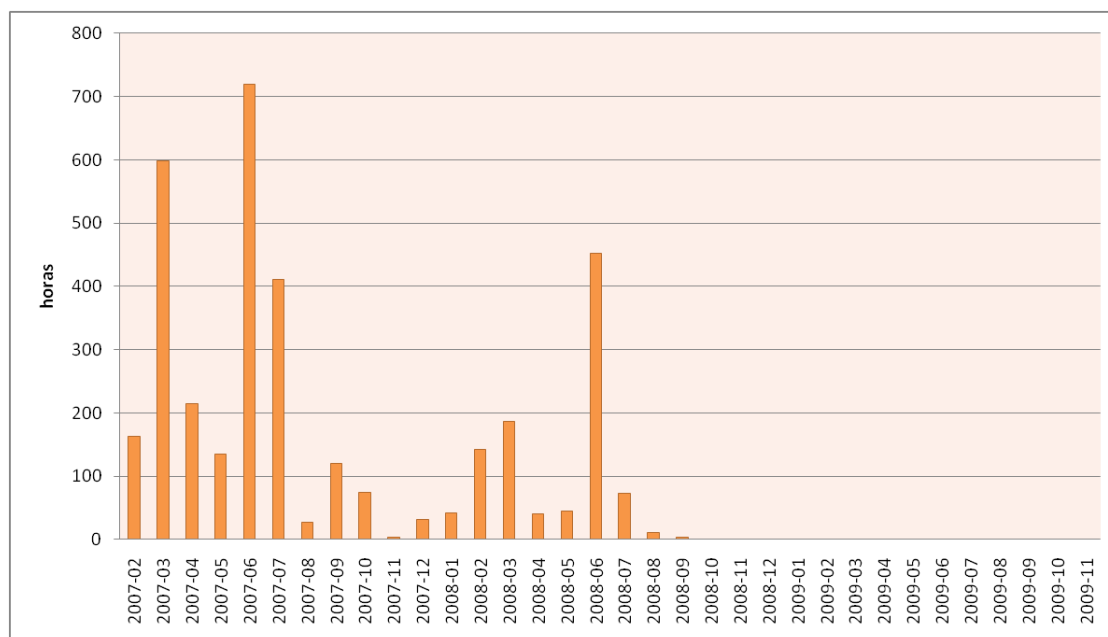
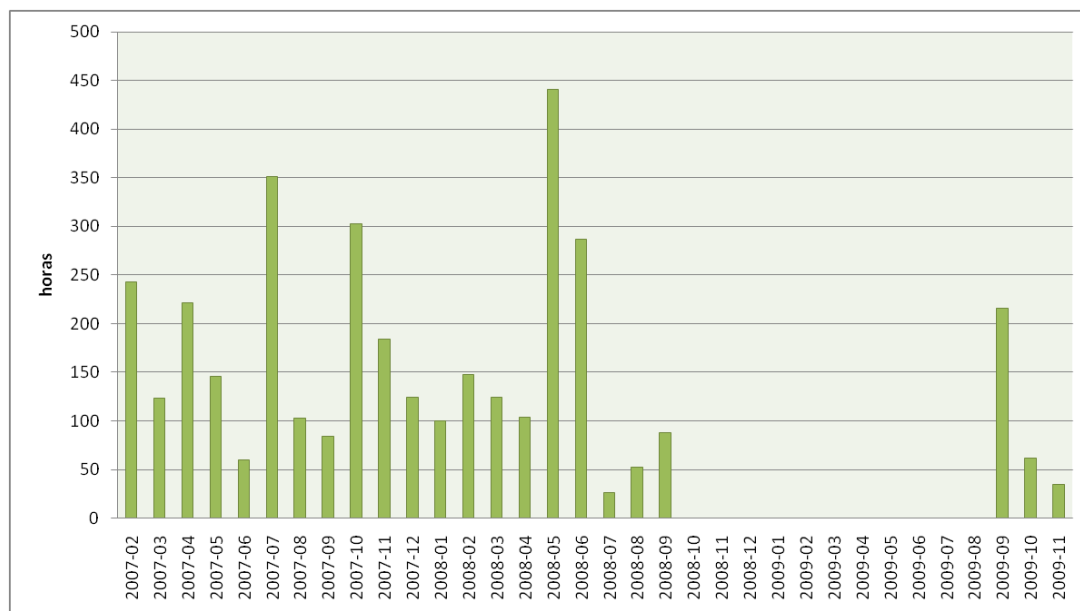
**Anexo B. 5 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº4, fragata A)****Anexo B. 6 – Variação da taxa de falhas nos geradores da fragata A (Teste de Laplace)**

Gerador	$Z_0$	$ Z_0 $	$\frac{Z_{\alpha}e}{2}$
grupo 1	1,33	1,33	1,645
grupo 2	-0,21	0,21	1,645
grupo 3	0,45	0,45	1,645
grupo 4	-0,74	0,74	1,645

**Anexo B. 7 – Registo do número de horas de funcionamento dos geradores da fragata A (DSM59)**

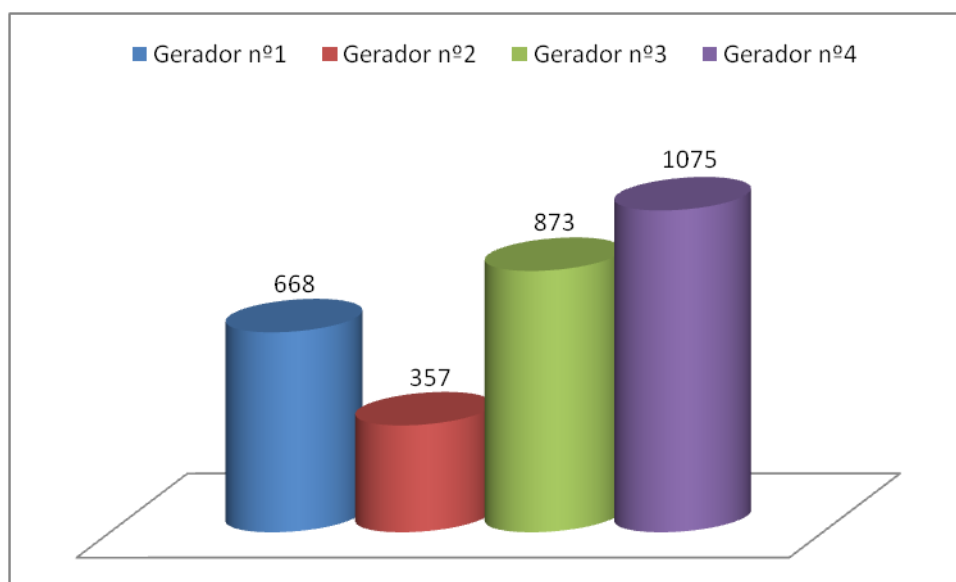
Data	grupo 1	grupo 2	grupo 3	grupo 4
2007-02	51	495	163	243
2007-03	7	288	598	123
2007-04	62	261	215	221
2007-05	239	75	135	146
2007-06	350	455	720	60
2007-07	280	223	411	351
2007-08	87	10	27	103
2007-09	108	52	120	84
2007-10	207	79	75	303
2007-11	36	29	3	184
2007-12	30	16	31	124
2008-01	20	9	42	100
2008-02	12	13	143	148
2008-03	40	14	187	124
2008-04	157	39	40	104
2008-05	501	130	45	441
2008-06	415	138	452	287
2008-07	27	110	73	26
2008-08	42	62	11	52
2008-09	74	22	3	88
2008-10	9	9	0	0
2008-11	1	0	0	0
2008-12	9	8	0	0
2009-01	6	37	0	0
2009-02	19	29	0	0
2009-03	7	0	0	0
2009-04	0	0	0	0
2009-05	62	0	0	0
2009-06	57	0	0	0
2009-07	31	0	0	0
2009-08	30	0	0	0
2009-09	0	0	0	216
2009-10	0	13	0	62
2009-11	88	0	0	35

**Anexo B. 8 – Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº1, fragata A)****Anexo B. 9 – Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº2, fragata A)**

**Anexo B. 10 – Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº3, fragata A)****Anexo B. 11 – Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº4, fragata A)**

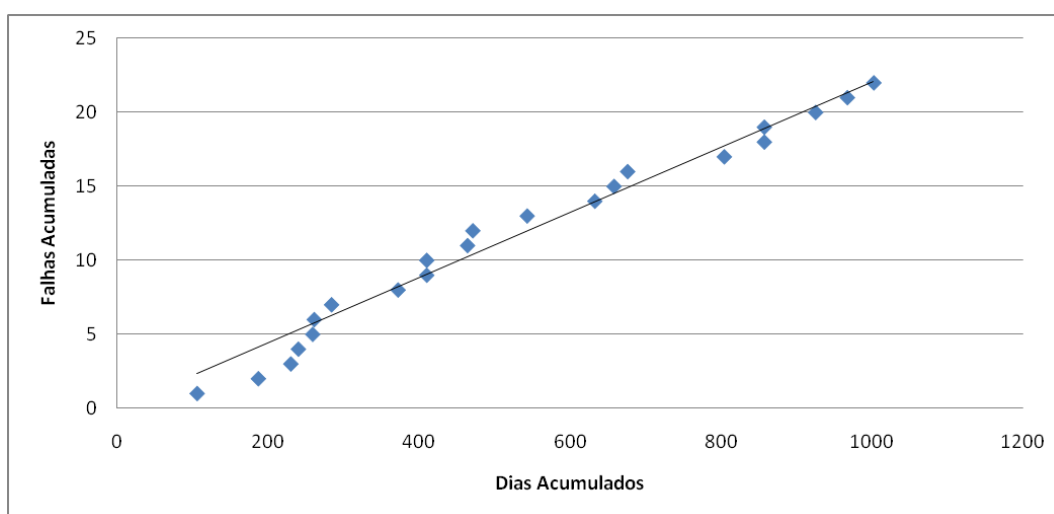
**Anexo B. 12 – MTBF dos geradores da fragata A**

Grupo Diesel	Nº de horas acumuladas	Nº de falhas	MTBF(horas)
1	2671	4	668
2	2498	7	357
3	3491	4	873
4	3224	3	1075
Total	11884	18	

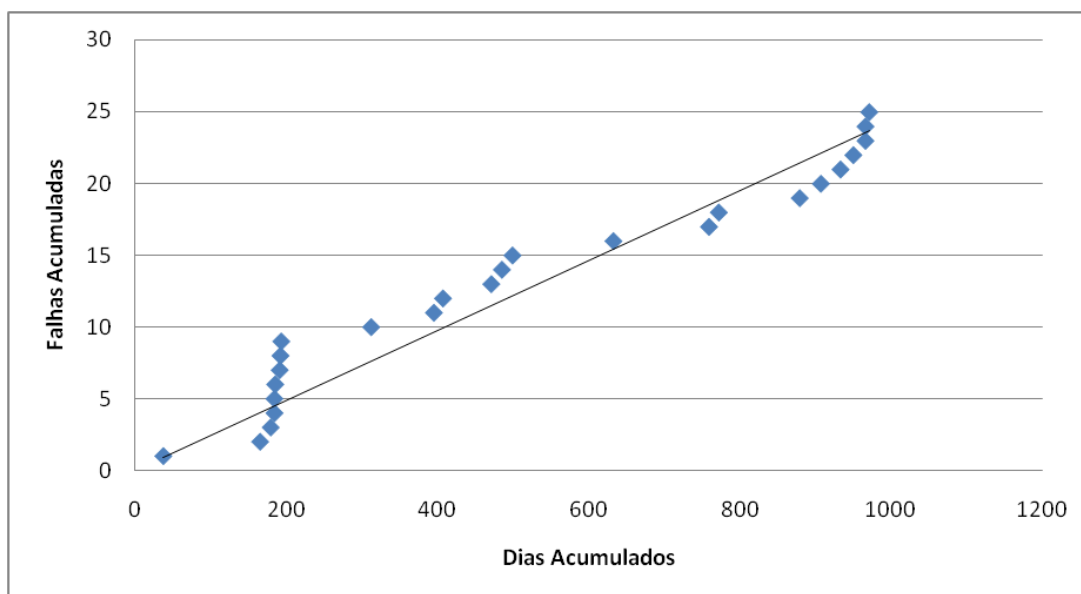
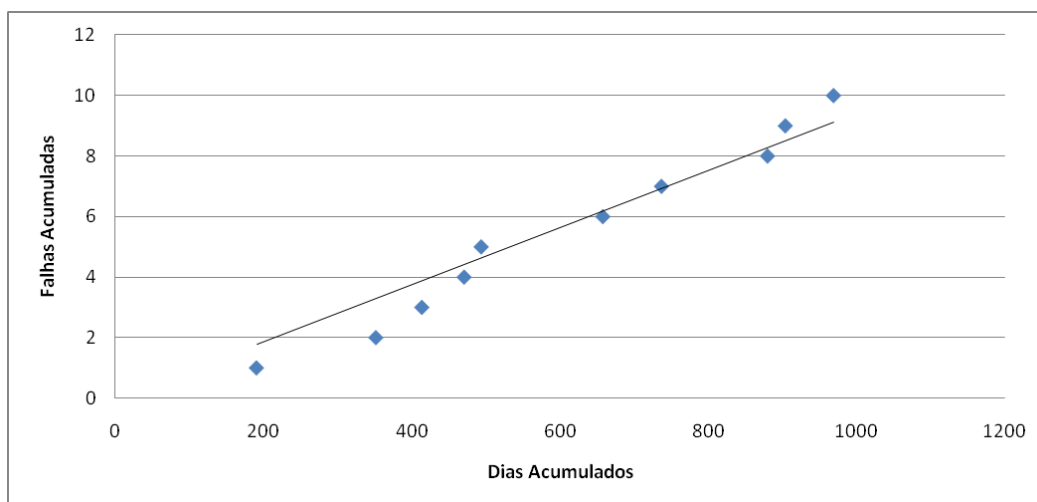
**Anexo B. 13 – MTBF dos geradores da fragata A**

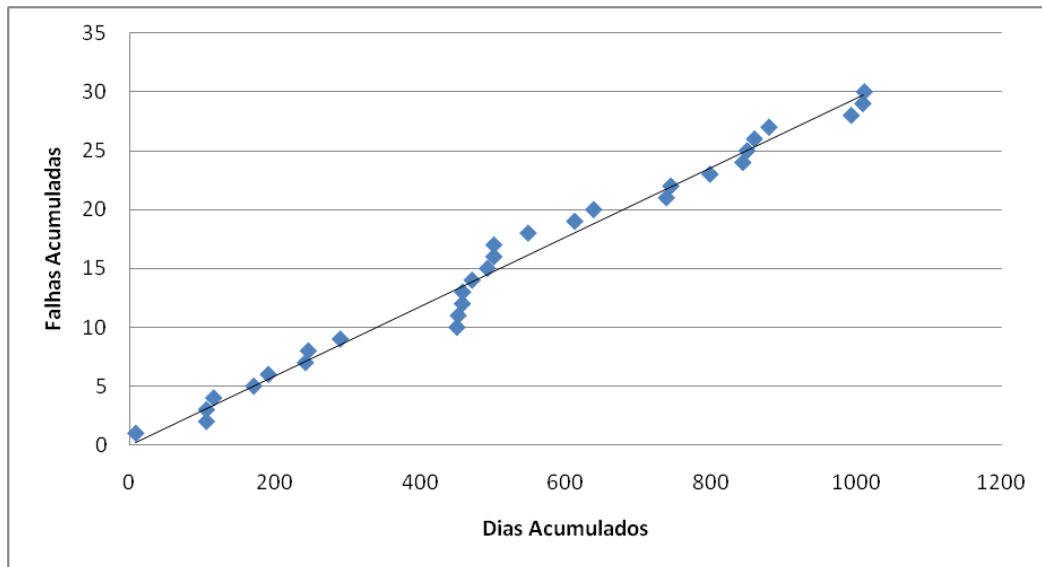
**Anexo B. 14 - Registo das falhas ocorridas nos geradores da fragata B**

grupo1			grupo2			grupo3			grupo4		
data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria
16-04-2007	106	1	06-02-2007	37	1	10-07-2007	191	1	09-01-2007	9	1
06-07-2007	187	2	14-06-2007	165	2	18-12-2007	352	2	16-04-2007	106	2
18-08-2007	230	3	28-06-2007	179	3	18-02-2008	414	3	16-04-2007	106	3
28-08-2007	240	4	03-07-2007	184	4	15-04-2008	471	4	26-04-2007	116	4
16-09-2007	259	5	03-07-2007	184	5	08-05-2008	494	5	20-06-2007	171	5
18-09-2007	261	6	04-07-2007	185	6	19-10-2008	658	6	10-07-2007	191	6
11-10-2007	284	7	10-07-2007	191	7	06-01-2009	737	7	30-08-2007	242	7
07-01-2008	372	8	11-07-2007	192	8	29-05-2009	880	8	03-09-2007	246	8
14-02-2008	410	9	12-07-2007	193	9	22-06-2009	904	9	17-10-2007	290	9
14-02-2008	410	10	08-11-2007	312	10	26-08-2009	969	10	25-03-2008	450	10
08-04-2008	464	11	30-01-2008	395	11				27-03-2008	452	11
15-04-2008	471	12	11-02-2008	407	12				01-04-2008	458	12
26-06-2008	543	13	15-04-2008	471	13				02-04-2008	458	13
23-09-2008	633	14	29-04-2008	485	14				15-04-2008	471	14
19-10-2008	658	15	13-05-2008	499	15				06-05-2008	492	15
06-11-2008	676	16	23-09-2008	633	16				15-05-2008	501	16
14-03-2009	804	17	28-01-2009	759	17				15-05-2008	501	17
06-05-2009	857	18	10-02-2009	772	18				01-07-2008	548	18
06-05-2009	857	19	28-05-2009	879	19				03-09-2008	612	19
13-07-2009	925	20	25-06-2009	907	20				29-10-2008	638	20
24-08-2009	967	21	21-07-2009	933	21				07-01-2009	738	21
28-09-2009	1002	22	07-08-2009	950	22				13-01-2009	744	22
			23-08-2009	966	23				08-03-2009	798	23
			23-08-2009	966	24				22-04-2009	843	24
			28-08-2009	971	25				28-04-2009	849	25
									08-05-2009	859	26
									28-05-2009	879	27
									18-09-2009	992	28
									04-10-2009	1008	29
									06-10-2009	1010	30
Total:	11616	22	Total:	12815	25	Total:	6070	10	Total:	15778	30

**Anexo B. 15 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº1, fragata B)**



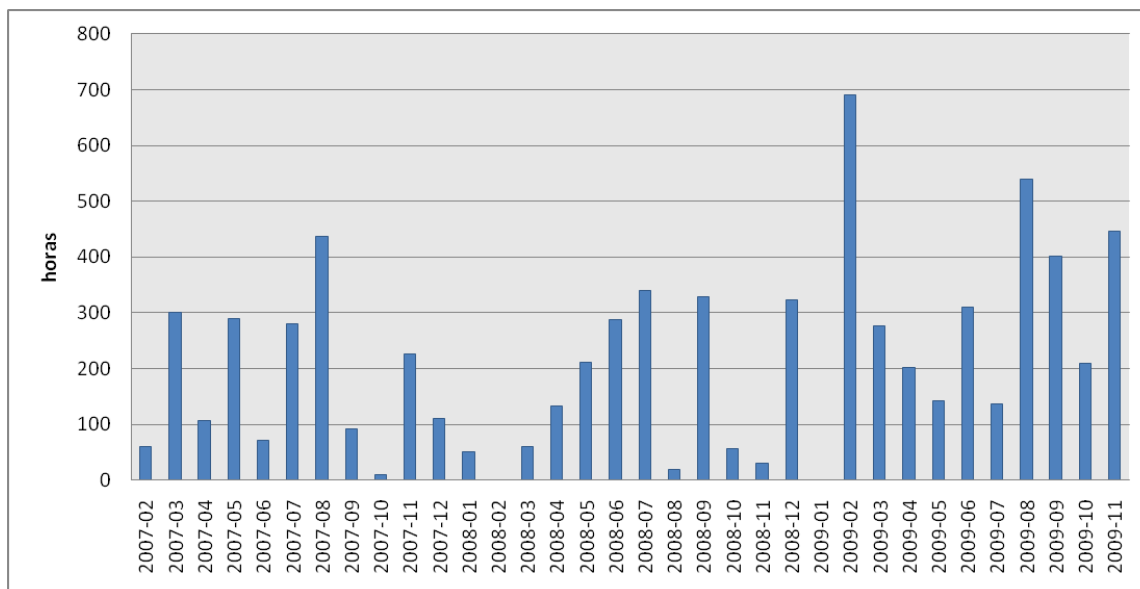
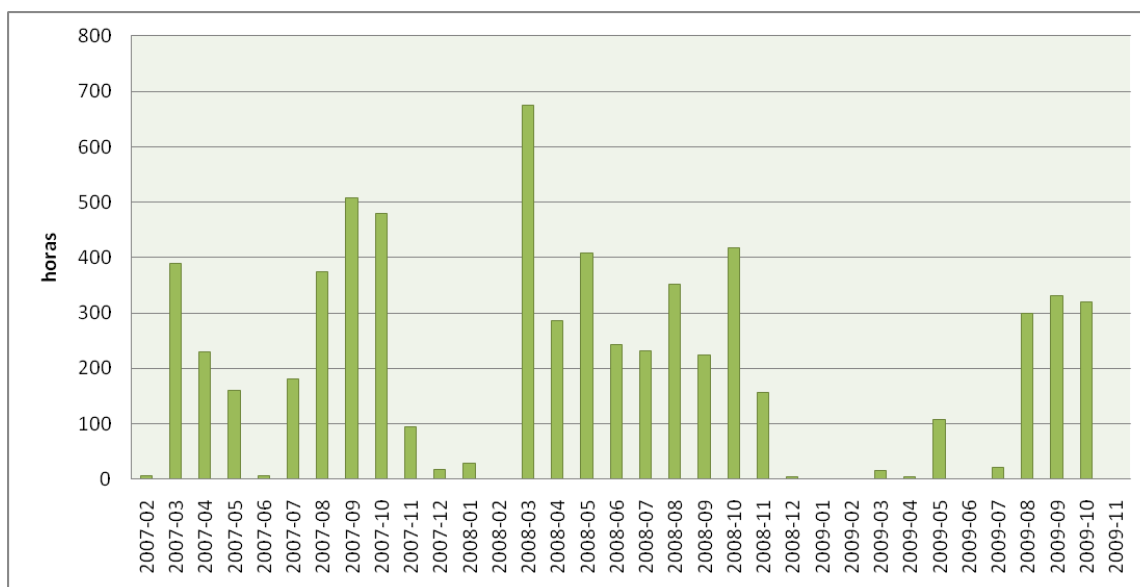
**Anexo B. 16 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº2, fragata B)****Anexo B. 17 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº3, fragata B)**

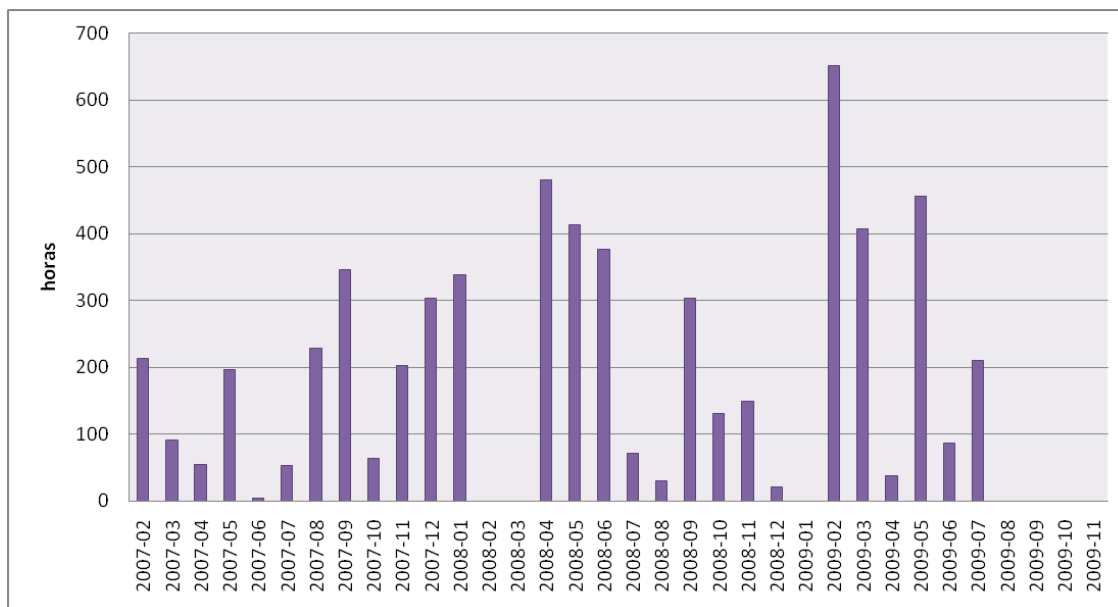
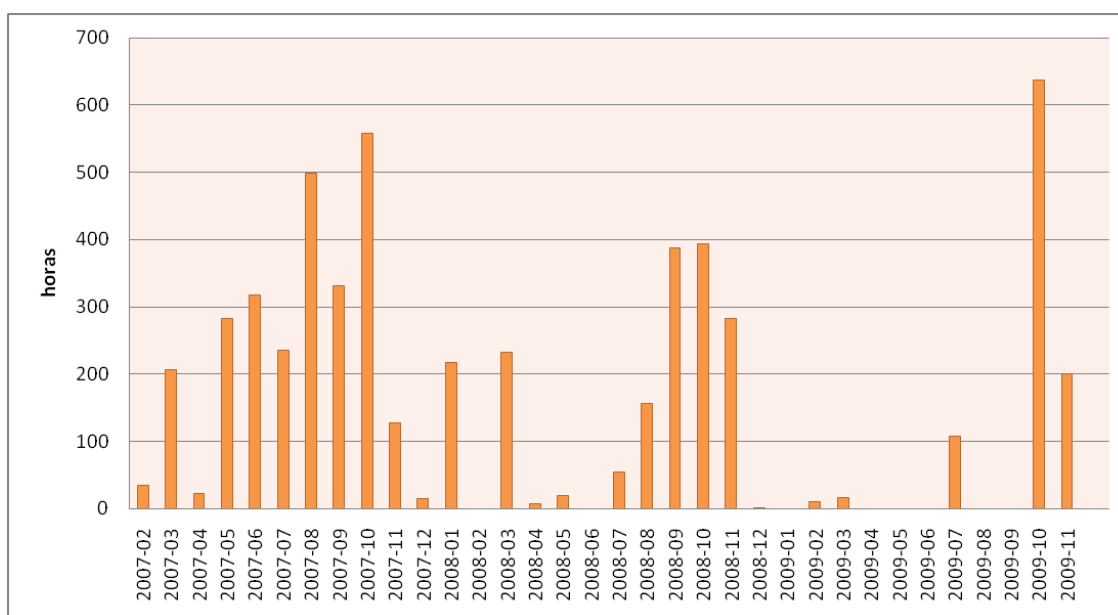
**Anexo B. 18 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº4, fragata B)****Anexo B. 19 - Variação da taxa de falhas nos geradores da fragata B (Teste de Laplace)**

Gerador	$Z_0$	$ Z_0 $	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
grupo 1	-0,07	0,07	1,645
grupo 2	-0,32	0,32	1,645
grupo 3	0,77	0,77	1,645
grupo 4	-0,12	0,12	1,645

**Anexo B. 20 - Registo do número de horas de funcionamento dos geradores da fragata B (DSM59)**

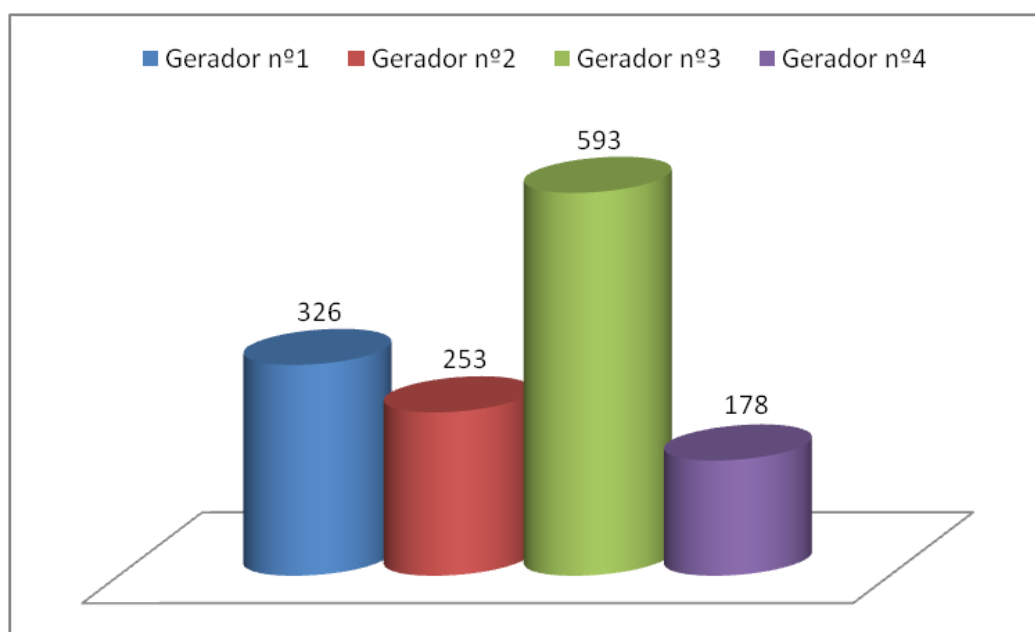
Data	grupo 1	grupo 2	grupo 3	grupo 4
2007-02	61	7	214	34
2007-03	301	389	91	206
2007-04	107	230	54	22
2007-05	290	160	196	283
2007-06	71	6	4	317
2007-07	280	181	53	235
2007-08	437	375	228	499
2007-09	92	508	346	331
2007-10	9	480	64	558
2007-11	226	94	203	127
2007-12	110	18	304	15
2008-01	50	28	339	218
2008-02	0	0	0	0
2008-03	61	675	0	232
2008-04	132	286	481	7
2008-05	211	408	414	20
2008-06	287	243	376	0
2008-07	340	232	72	54
2008-08	19	352	31	156
2008-09	328	224	303	388
2008-10	56	418	131	393
2008-11	31	157	150	283
2008-12	324	5	21	2
2009-01	0	0	0	0
2009-02	690	0	652	10
2009-03	277	15	408	17
2009-04	202	4	38	0
2009-05	143	108	456	0
2009-06	310	0	86	0
2009-07	137	21	211	107
2009-08	539	300	0	0
2009-09	401	331	0	0
2009-10	209	319	0	637
2009-11	447	0	0	200

**Anexo B. 21 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº1, fragata B)****Anexo B. 22 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº2, fragata B)**

**Anexo B. 23 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº3, fragata B)****Anexo B. 24 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº4, fragata B)**

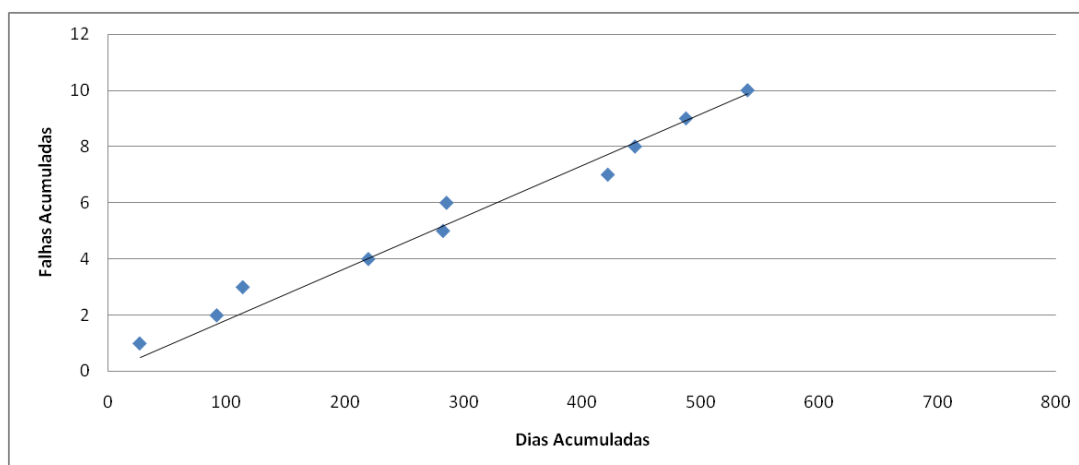
**Anexo B. 25 - MTBF dos geradores da fragata B**

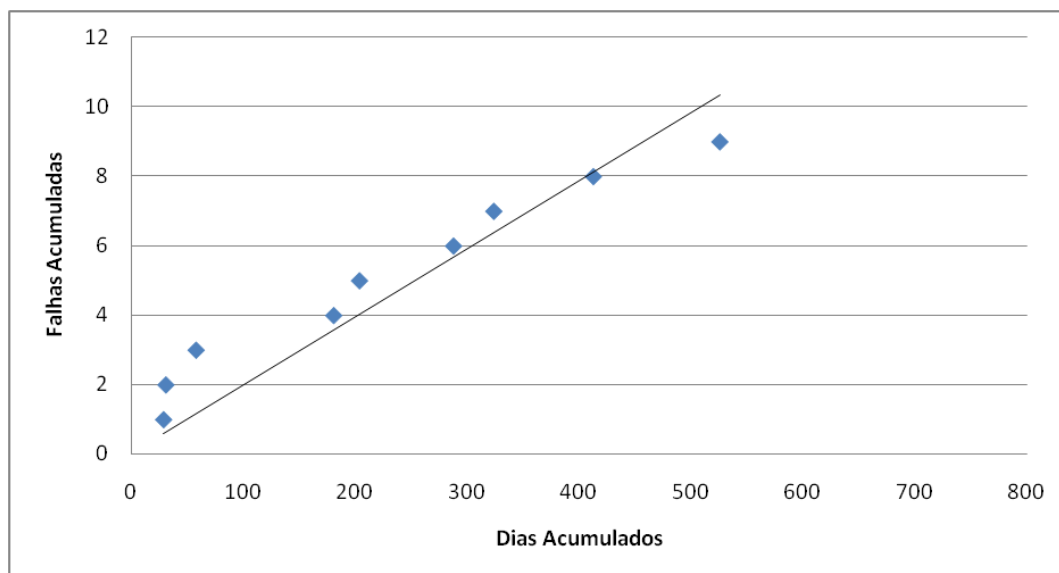
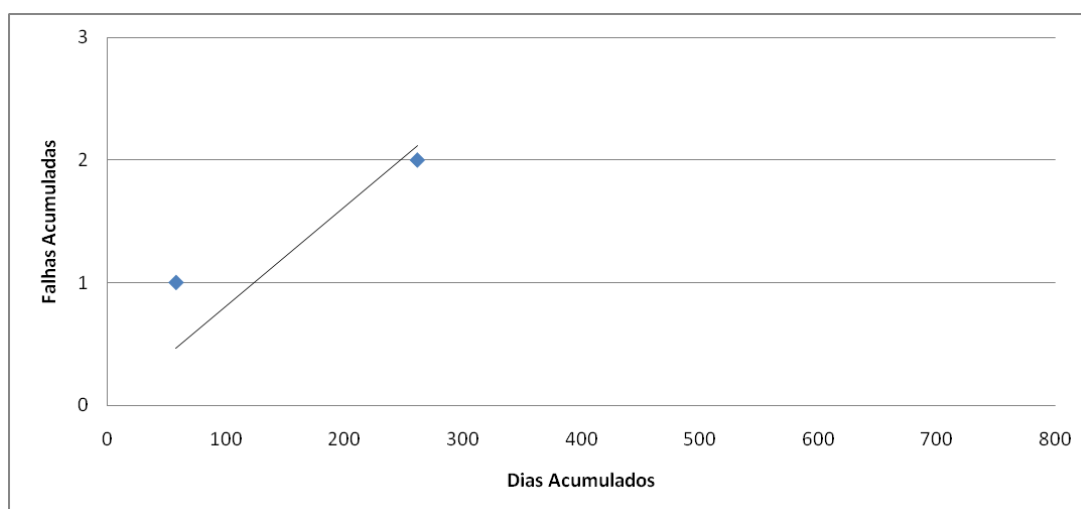
Grupo Diesel	Nº de horas acumuladas	Nº de falhas	MTBF(horas)
1	7178	22	326
2	6574	24	253
3	5926	10	593
4	5351	30	178
Total	25029	86	

**Anexo B. 26 - MTBF dos geradores da fragata B**

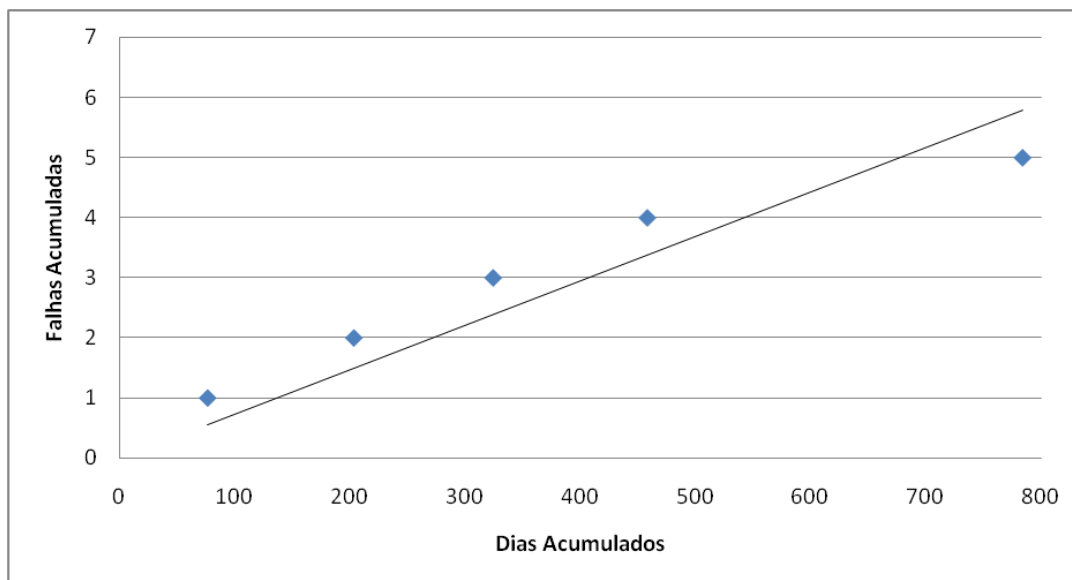
**Anexo B. 27 - Registo das falhas ocorridas nos geradores da fragata C**

grupo1			grupo2			grupo3			grupo4		
data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria	data da avaria	dia da avaria	nº da avaria
27-08-2007	27	1	29-08-2007	29	1	27-09-2007	58	1	15-10-2007	76	1
31-10-2007	92	2	31-08-2007	31	2	18-04-2008	262	2	19-02-2008	203	2
22-11-2007	114	3	27-09-2007	58	3				19-06-2008	324	3
07-03-2008	220	4	28-01-2008	181	4				31-10-2008	458	4
09-05-2008	283	5	20-02-2008	204	5				22-09-2009	784	5
12-05-2008	286	6	14-05-2008	288	6						
25-09-2008	422	7	19-06-2008	324	7						
28-10-2008	445	8	16-09-2008	413	8						
30-11-2008	488	9	07-01-2009	526	9						
21-01-2009	540	10									
Total:	2917	10	Total:	2054	9	Total:	320	2	Total:	1845	5

**Anexo B. 28 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº1, fragata C)**

**Anexo B. 29 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº2, fragata C)****Anexo B. 30 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº3, fragata C)**

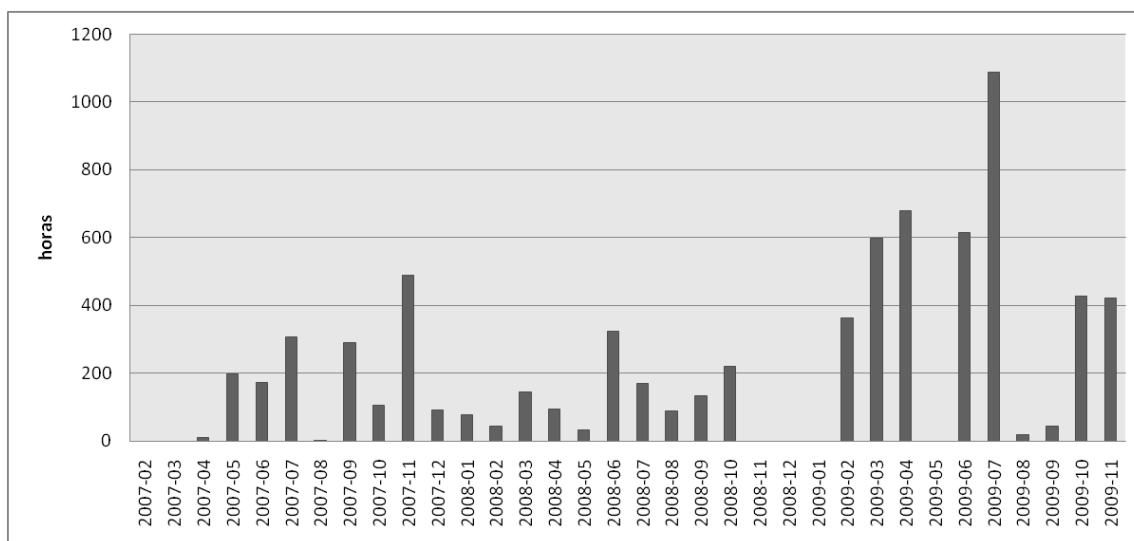
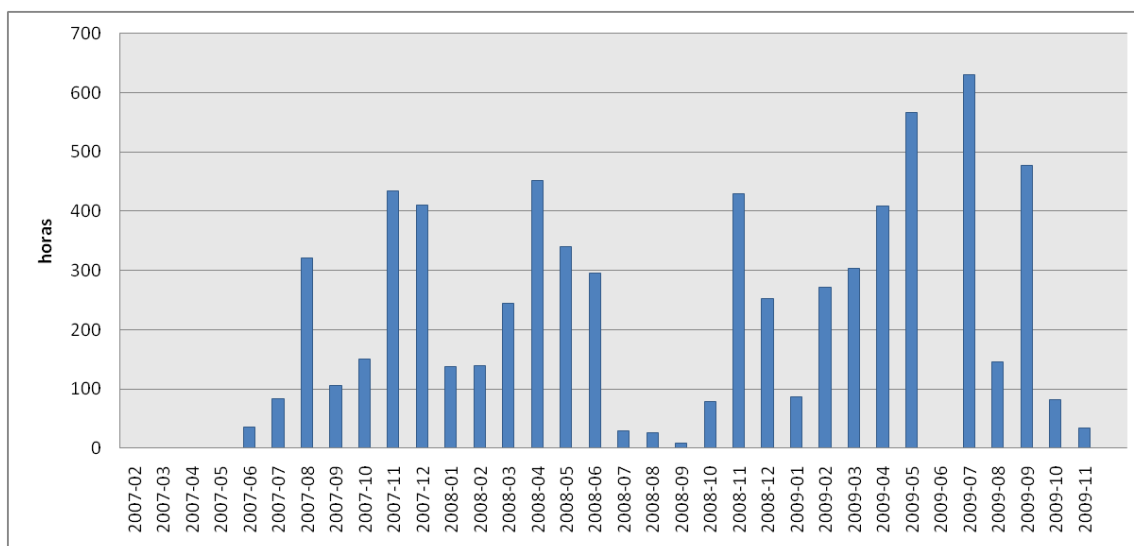


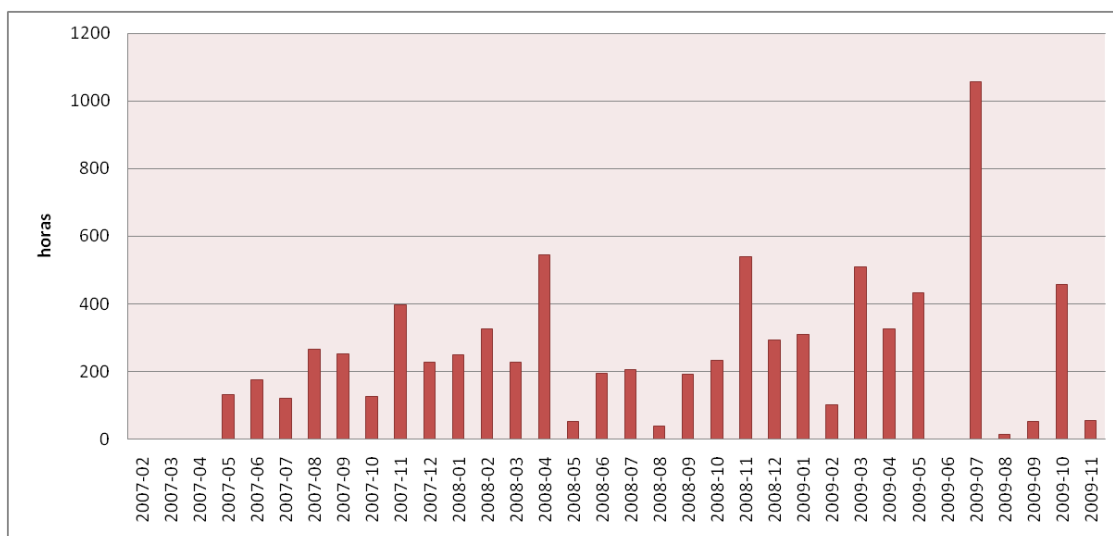
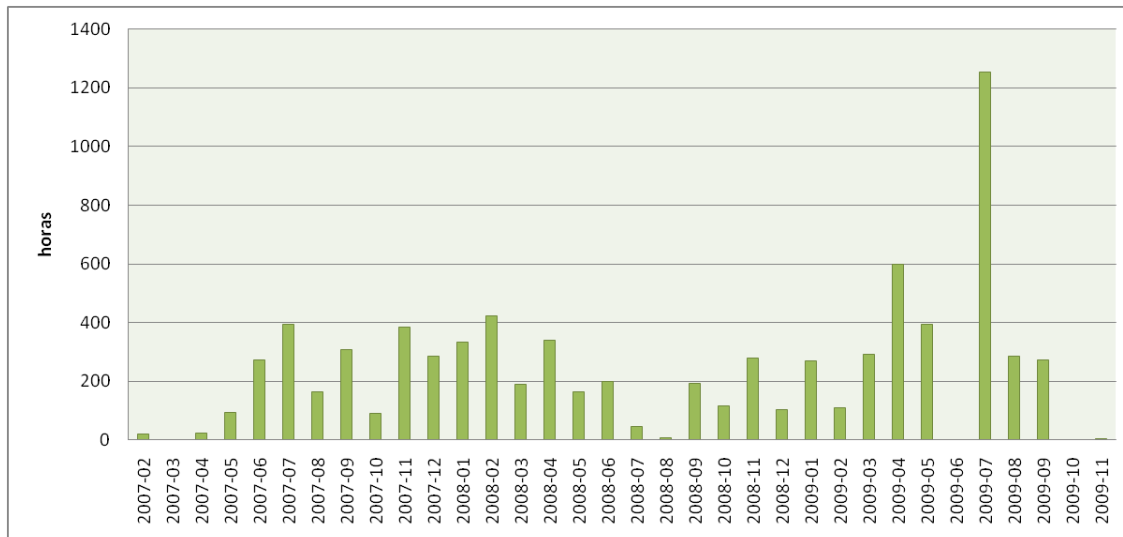
**Anexo B. 31 - Falhas acumuladas em função do tempo de vida do sistema (gerador nº4, fragata C)****Anexo B. 32 - Variação da taxa de falhas nos geradores da fragata C (Teste de Laplace)**

Gerador	$Z_0$	$ Z_0 $	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
grupo 1	0,98	0,98	1,645
grupo 2	0,16	0,16	1,645
grupo 3	-0,32	0,32	1,645
grupo 4	1,4	1,4	1,645

**Anexo B. 33 - Registo do número de horas de funcionamento dos geradores da fragata C (DSM59)**

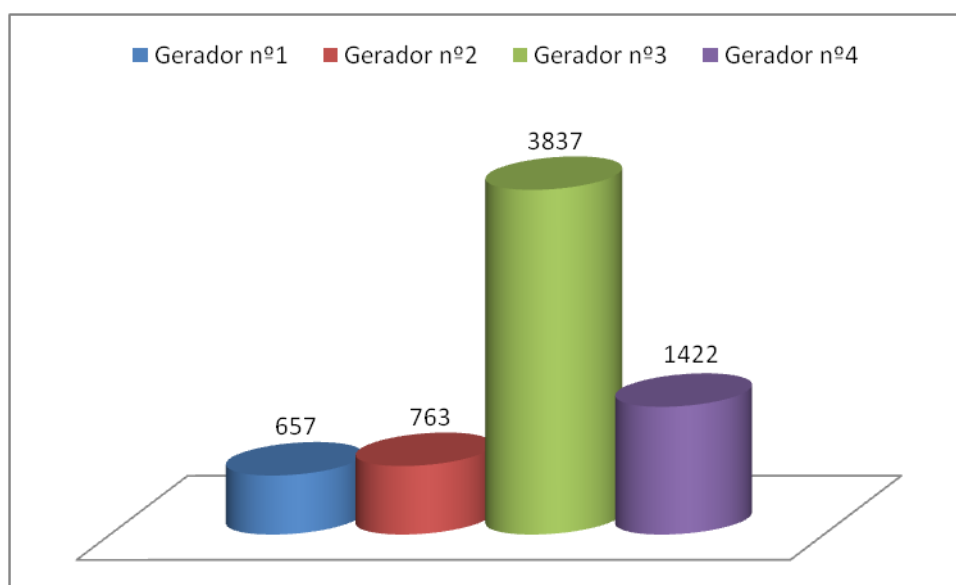
Data	grupo 1	grupo 2	grupo 3	grupo 4
2007-02	0	0	0	20
2007-03	0	0	0	0
2007-04	12	0	0	24
2007-05	197	0	131	93
2007-06	172	35	174	274
2007-07	306	83	120	394
2007-08	3	321	266	163
2007-09	290	105	251	308
2007-10	105	150	127	91
2007-11	489	435	396	385
2007-12	91	411	227	286
2008-01	79	138	250	334
2008-02	45	140	325	423
2008-03	145	245	227	190
2008-04	96	451	545	341
2008-05	32	340	51	165
2008-06	325	296	195	199
2008-07	169	30	206	45
2008-08	88	26	39	7
2008-09	135	9	191	193
2008-10	221	79	232	118
2008-11	0	430	540	279
2008-12	0	252	294	105
2009-01	0	87	308	270
2009-02	363	271	102	109
2009-03	597	304	508	293
2009-04	680	408	325	597
2009-05	0	567	433	394
2009-06	616	0	0	0
2009-07	1088	631	1056	1254
2009-08	19	146	14	287
2009-09	45	477	52	274
2009-10	428	82	458	0
2009-11	423	34	55	1

**Anexo B. 34 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº1, fragata C)****Anexo B. 35 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº2, fragata C)**

**Anexo B. 36 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº3, fragata C)****Anexo B. 37 - Horas de funcionamento do gerador em função do mês (gerador nº1, fragata C)**

**Anexo B. 38 - MTBF dos geradores da fragata C**

Grupo Diesel	Nº de horas acumuladas	Nº de falhas	MTBF(horas)
1	6572	10	657,20
2	6865	9	762,78
3	7673	2	3836,50
4	7111	5	1422,20
Total	28221	26	

**Anexo B. 39 - MTBF dos geradores da fragata C**

**Anexo B. 40 - Modelo de Kaplan-Meier aplicado à bomba de água doce**

tempo	sistemas	n	d	c	Ri	Vi	R(t)	R2(inferior)	R1(superior)
0		13	0				1	1	1
93	1	13	1		0,92	1,00	0,92	0,66	0,98
134	1	12	1		0,92	0,50	0,85	0,58	0,95
222	2	11	0	2	1,00	0,50	0,85	0,58	0,95
325	1	9	1		0,89	0,34	0,75	0,47	0,90
327	1	8	0	1	1,00	0,34	0,75	0,47	0,90
357	2	7	2		0,71	0,22	0,54	0,26	0,75
395	1	5	0	1	1,00	0,22	0,54	0,26	0,75
398	1	4	0	1	1,00	0,22	0,54	0,26	0,75
527	1	3	1		0,67	0,24	0,36	0,10	0,63
761	1	2	0	1	1,00	0,24	0,36	0,10	0,63

**Anexo B. 41 - Modelo de Kaplan-Meier aplicado ao sistema de pré-aquecimento de água doce**

tempo	nº de sistemas	n	d	c	Ri	Vi	R(t)	R2(inferior)	R1(superior)
0		10					1,000	1,000	1,000
24	1	10	1		0,900	1,001	0,900	0,578	0,980
35	1	9		1	1,000	1,001	0,900	0,578	0,980
103	1	8	1		0,875	0,508	0,788	0,461	0,929
169	1	7		1	1,000	0,508	0,788	0,461	0,929
179	1	6	1		0,833	0,351	0,656	0,326	0,853
183	1	5	1		0,800	0,270	0,525	0,219	0,761
410	1	4	1		0,750	0,225	0,394	0,130	0,653
544	1	3	1		0,667	0,203	0,263	0,060	0,529
953	1	2		1	1,000	0,203	0,263	0,060	0,529

**Anexo B. 42 - Modelo de Kaplan-Meier aplicado ao limitador e regulador de velocidade**

tempo	nº de sistemas	n	d	c	Ri	Vi	R(t)	R2(inferior)	R1(superior)
0		16					1,000	1,000	1,000
2	1	16	1		0,938	1,000	0,938	0,715	0,988
24	1	15	1		0,933	0,501	0,875	0,651	0,959
73	1	14		1	1,000	0,501	0,875	0,651	0,959
98	1	13		1	1,000	0,501	0,875	0,651	0,959
116	1	12		1	1,000	0,501	0,875	0,651	0,959
123	1	11		1	1,000	0,501	0,875	0,651	0,959
162	1	10	1		0,900	0,351	0,788	0,530	0,914
325	1	9	1		0,889	0,267	0,700	0,433	0,859
402	1	8	1		0,875	0,216	0,613	0,348	0,796
436	1	7	1		0,857	0,182	0,525	0,272	0,727
456	1	6	1		0,833	0,159	0,438	0,202	0,652
463	1	5	1		0,800	0,144	0,350	0,140	0,571
529	1	4		1	1,000	0,144	0,350	0,140	0,571
613	1	3		1	1,000	0,144	0,350	0,140	0,571
758	1	2	1		0,500	0,217	0,175	0,023	0,446

**Anexo B. 43 - Modelo de Kaplan-Meier aplicado à bomba de água salgada**

tempo	nº de sistemas	n	d	c	Ri	Vi	R(t)	R2(inferior)	R1(superior)
0		6					1,000	1,000	1,000
276	1	6	1		0,833	1,003	0,833	0,386	0,966
355	1	5	1		0,800	0,507	0,667	0,269	0,882
389	1	4		1	1,000	0,507	0,667	0,269	0,882
846	1	3	1		0,667	0,380	0,444	0,106	0,746
880	1	2		1	1,000	0,380	0,444	0,106	0,746

## Anexo C: Tabelas Estatísticas

### Anexo C. 1 – Distribuição Normal – Pontos percentuais

Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0822
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,8	0,0025	0,0024	0,0024	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019	0,0019
2,9	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013
3,0	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010
3,1	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
3,2	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
3,3	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,5	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3,6	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3,7	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3,8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3,9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



Anexo C. 2 – Distribuição X<sup>2</sup>

$\alpha =$	.995	.99	.98	.975	.95	.90	.85	.75	.70	.60	.50	.40	.35	.30	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.01	.005	.001
1	.000045	.000090	.000135	.000180	.000270	.000405	.000540	.000810	.001080	.001620	.002160	.003240	.004320	.005400	.006480	.007560	.009090	.010800	.013500	.016200	.020700	.025200	.032400
2	.010001	.019998	.029995	.039992	.059988	.089985	.119982	.179978	.239975	.359971	.479968	.639964	.839960	.107956	.135952	.163948	.203944	.243940	.293936	.353932	.433928	.533924	.673920
3	.015997	.031994	.047991	.063988	.093984	.123981	.153978	.233974	.313971	.453967	.593964	.813960	.993956	1.213952	1.433948	1.653944	2.013940	2.373936	2.733932	3.293928	3.853924	4.713920	5.873916
4	.020993	.041990	.062987	.083984	.123980	.163977	.203974	.293970	.383967	.543963	.693960	.973956	1.253952	1.533948	1.813944	2.093940	2.513936	2.933932	3.353928	3.973924	4.593920	5.573916	6.733912
5	.025990	.051987	.072984	.093981	.133977	.173974	.213971	.303967	.393964	.563960	.713956	1.033952	1.313948	1.593944	1.873940	2.153936	2.573932	2.993928	3.413924	3.973920	4.533916	5.413912	6.493908
6	.030987	.061984	.082981	.103978	.143974	.183971	.223968	.313964	.403961	.583957	.733954	1.073950	1.353946	1.633942	1.913938	2.193934	2.613930	3.033926	3.453922	3.973918	4.533914	5.313910	6.393906
7	.035984	.071981	.092978	.113975	.153971	.193968	.233965	.323961	.413958	.593954	.743951	1.083947	1.363943	1.643939	1.923935	2.203931	2.623927	3.043923	3.463919	3.983915	4.543911	5.323907	6.403903
8	.040981	.081978	.102975	.123972	.163968	.203965	.243962	.333958	.423955	.603951	.753948	1.093944	1.373940	1.653936	1.933932	2.213928	2.633924	3.053920	3.473916	3.993912	4.553908	5.333904	6.413900
9	.045978	.086975	.107972	.128969	.168965	.208962	.248959	.338955	.428952	.608948	.758945	1.098941	1.378937	1.658933	1.938929	2.218925	2.638921	3.058917	3.478913	3.998909	4.558905	5.338901	6.418897
10	.050975	.091972	.112969	.133966	.173962	.213959	.253956	.343952	.433949	.613945	.763942	1.103938	1.383934	1.663930	1.943926	2.223922	2.643918	3.063914	3.483910	3.998906	4.558902	5.338898	6.418894
11	.055972	.096969	.117966	.138963	.178959	.218956	.258953	.348949	.438946	.618942	.768939	1.108935	1.388931	1.668927	1.948923	2.228919	2.648915	3.068911	3.488907	3.998903	4.558899	5.338895	6.418891
12	.060969	.101966	.122963	.143960	.183956	.223953	.263950	.353946	.443943	.623939	.773936	1.113932	1.393928	1.673924	1.953920	2.233916	2.653912	3.073908	3.493904	3.998900	4.558896	5.338892	6.418888
13	.065966	.106963	.127960	.148957	.188953	.228950	.268947	.358943	.448940	.628936	.778933	1.118929	1.398925	1.678921	1.958917	2.238913	2.658909	3.078905	3.498901	3.998896	4.558893	5.338889	6.418885
14	.070963	.111960	.132957	.153954	.193950	.233947	.273944	.363940	.453937	.633933	.783930	1.123926	1.403922	1.683918	1.963914	2.243910	2.663906	3.083902	3.503898	3.998892	4.558890	5.338886	6.418882
15	.075960	.116957	.137954	.158951	.198947	.238944	.278941	.368937	.458934	.638930	.788927	1.128923	1.408919	1.688915	1.968911	2.248907	2.668903	3.088899	3.508895	3.998888	4.558887	5.338883	6.418879
16	.080957	.121954	.142951	.163948	.203944	.243941	.283938	.373934	.463931	.643927	.793924	1.133920	1.413916	1.693912	1.973908	2.253904	2.673900	3.098894	3.518890	3.998884	4.558884	5.338879	6.418875
17	.085954	.126951	.147948	.168945	.208941	.248938	.288935	.378931	.468928	.648924	.798921	1.138917	1.418913	1.698909	1.978905	2.258901	2.678897	3.098890	3.518886	3.998880	4.558880	5.338875	6.418871
18	.090951	.131948	.152945	.173942	.213938	.253935	.293932	.383928	.473925	.653921	.803918	1.143914	1.423910	1.703906	1.983902	2.263898	2.683894	3.108886	3.528882	3.998876	4.558876	5.338871	6.418867
19	.095948	.136945	.157942	.178939	.218935	.258932	.298929	.388925	.478922	.658918	.808915	1.148911	1.428907	1.708903	1.988899	2.268895	2.688891	3.108882	3.528878	3.998872	4.558872	5.338867	6.418863
20	.100945	.141942	.162939	.183936	.223932	.263929	.303926	.393922	.483919	.663915	.813912	1.153908	1.433904	1.713900	1.993896	2.273892	2.693888	3.118878	3.538874	3.998868	4.558868	5.338863	6.418859
21	.105942	.146939	.167936	.188933	.228929	.268926	.308923	.398919	.488916	.668912	.818909	1.158905	1.438901	1.718897	1.998893	2.278889	2.698885	3.118874	3.538870	3.998864	4.558864	5.338859	6.418855
22	.110939	.151936	.172933	.193930	.233926	.273923	.313920	.403916	.493913	.673909	.823906	1.163902	1.443898	1.723894	2.003890	2.283886	2.703882	3.128870	3.548866	3.998860	4.558860	5.338855	6.418851
23	.115936	.156933	.177930	.198927	.238923	.278920	.318917	.408913	.498910	.678906	.828903	1.168899	1.448895	1.728891	2.008887	2.288883	2.708879	3.128866	3.548862	3.998856	4.558856	5.338851	6.418847
24	.120933	.161930	.182927	.203924	.243920	.283917	.323914	.413910	.503907	.683903	.833900	1.173896	1.453892	1.733888	2.013884	2.293880	2.713876	3.138862	3.558858	3.998852	4.558852	5.338847	6.418843
25	.125930	.166927	.187924	.208921	.248917	.288914	.328911	.418907	.508904	.688900	.838897	1.178893	1.458889	1.738885	2.018881	2.298877	2.718873	3.138858	3.558854	3.998848	4.558848	5.338843	6.418839
26	.130927	.171924	.192921	.213918	.253914	.293911	.333908	.423904	.513901	.693897	.843894	1.183890	1.463886	1.743882	2.023878	2.303874	2.723870	3.148854	3.568850	3.998844	4.558844	5.338839	6.418835
27	.135924	.176921	.197918	.218915	.258911	.298908	.338905	.428901	.518898	.698894	.848891	1.188887	1.468883	1.748879	2.028874	2.308870	2.728866	3.148850	3.568846	3.998840	4.558840	5.338835	6.418831
28	.140921	.181918	.202915	.223912	.263908	.303905	.343902	.433898	.523895	.703891	.853888	1.193884	1.473880	1.753876	2.033872	2.313868	2.733864	3.158846	3.578842	3.998836	4.558836	5.338831	6.418827
29	.145918	.186915	.207912	.228909	.268905	.308902	.348899	.438895	.528892	.708888	.858885	1.198881	1.478877	1.758873	2.038868	2.318864	2.738860	3.158842	3.578838	3.998832	4.558832	5.338827	6.418823
30	.150915	.191912	.212909	.233906	.273902	.313899	.353896	.443892	.533889	.713885	.863882	1.203878	1.483874	1.763870	2.043864	2.323860	2.743856	3.168838	3.588834	3.998828	4.558828	5.338823	6.418819
40	.200908	.240905	.261902	.282900	.322896	.362893	.402890	.492886	.582883	.762879	.912876	1.252872	1.532868	1.812864	2.092860	2.372856	2.752852	3.212848	3.632844	3.998824	4.558824	5.338819	6.418815
50	.270901	.310900	.331900	.352900	.392896	.432893	.472890	.562886	.652883	.832879	.982876	1.322872	1.602868	1.882864	2.162860	2.442856	2.822852	3.322848	3.742844	3.998820	4.558820	5.338815	6.418811
60	.330900	.370900	.391900	.412900	.452896	.492893	.532890	.622886	.712883	.892879	1.042876	1.382872	1.662868	1.942864	2.222860	2.502856	2.882852	3.422848	3.842844	3.998816	4.558816	5.338811	6.418807
70	.390900	.430900	.451900	.472900	.512896	.552893	.592890	.682886	.772883	.952879	1.102876	1.442872	1.722868	2.002864	2.282860	2.562856	2.942852	3.522848	3.942844	3.998812	4.558812	5.338807	6.418803
80	.450900	.490900	.511900	.532900	.572896	.612893	.652890	.742886	.832883	1.012879	1.162876	1.502872	1.782868	2.062864	2.342860	2.622856	3.002852	3.622848	4.042844	3.998808	4.558808	5.338803	6.418799
90	.510900	.550900	.571900	.592900	.632896	.672893	.712890	.802886	.892883	1.072879	1.222876	1.562872	1.842868	2.122864	2.402860	2.682856	3.062852	3.702848	4.122844	3.998804	4.558804	5.338800	6.418795
100	.570900	.610900	.631900	.652900	.692896	.732893	.772890	.862886	.952883	1.132879	1.282876	1.622872	1.902868	2.182864	2.462860	2.742856	3.122852	3.802848	4.222844	3.998800	4.558800	5.338795	6.418791



